



Automatiseret simplificering af 1D hydraulisk model – med hensyn til 1D-2D oversvømmelsesberegninger

Löwe, Roland; Davidsen, Steffen; Thrysoe, Cecilie; Arnbjerg-Nielsen, Karsten

Published in:
EVA : Erfaringsudveksling i vandmiljøteknikken

Publication date:
2017

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Löwe, R., Davidsen, S., Thrysoe, C., & Arnbjerg-Nielsen, K. (2017). Automatiseret simplificering af 1D hydraulisk model – med hensyn til 1D-2D oversvømmelsesberegninger. *EVA : Erfaringsudveksling i vandmiljøteknikken*, 30(2), 26-31.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

SPILDEVANDSKOMITEEN

ERFARINGSUDVEKSLING I VANDMILJØTEKNIKKEN **EVA**

NR. 2 • 30. ÅRGANG • AUGUST 2017

Adresseliste for udvalgsmedlemmer

Mads Uggerby (formand)

EnviDan A/S
Vejlssøvej 23, 8600 Silkeborg
e-mail: mau@envidan.dk
Tlf. 8722 8587

Agnethe Nedergaard Pedersen

VandCenter Syd as
Vandværksvej 7, 5000 Odense C
e-mail: anp@vandcenter.dk
Tlf. 6114 9310

Sanne Lund (kasserer)

MOE A/S
Buddingevej 272, 2860 Søborg
e-mail: sal@moe.dk
Tlf. 2540 0246

Jakob Badsberg Larsen

Niras A/S
Sortemosevej 19, 3450 Allerød
jla@niras.dk
Tlf. 4810 4561, Mobil 2141 8335

Kjartan Gunnarsson Ravn

Vejle Spildevand A/S
Toldbodvej 20, 7100 Vejle
e-mail: kjara@vejlespildevand.dk
Tlf. 5118 1415

Kristian Vestergaard

Ingeniørhøjskolen Aarhus Universitet
Energi- og miljødesign
Inge Lehmanns Gade 10, 8000 Aarhus C
e-mail: kv@ase.au.dk
Tlf. 4189 3341

Ulla Boje Jensen

Furesø Egedal Forsyning A/S
Knud Bro Allé 1, 3660 Stenløse
e-mail: ubj@fefors.dk
Tlf. 4137 5416

Forside foto

Et bygværk på Tarupgårdsvej i Odense

Udgiver

Ingeniørforeningen, IDA – Spildevandskomiteen Erfaringsudveksling i Vandmiljøteknikken EVA.
Indlæggene i bladet står for forfatterens egen regning, og Eva-udvalget er ikke nødvendigvis enig i den udtrykte holdning eller anbefaling.

Hjemmeside

www.evanet.dk

E-mail

eva@evanet.dk

Dette blads redaktør

Agnethe Nedergaard Pedersen, anp@vandcenter.dk

Næste blads redaktør

Mads Uggerby, mau@envidan.dk

Deadline for indlæg

20. November 2017

Næste blad forventes udgivet

December 2017

Redaktion

Margrethe Nedergaard, margrethe_nedergaard@hotmail.com

Indhold

Leder	4
Indbydelse til Temadag	6
Kalender	10
Debat: Regner vi for meget og måler for lidt? Michael R. Rasmussen	14
Energitab i skybrudstunnel på Østerbro Kan Mike Urban håndtere energitab i komplekse hydrauliske systemer? Elham Ramin	16
Statistik metode til valg af overpumpning kapacitet Aage Lundgaard og Ida Bülow Gregersen	20
Automatiseret simplificering af 1D hydraulisk model – med hensyn til 1D-2D oversvømmelsesberegninger Roland Löwe, Steffen Davidsen, Cecilie Thrysoe og Karsten Arnbjerg-Nielsen	26
Svovlbrinteudfordringer ved centralisering og energioptimering af spildevandsnetværk DEL 3 Bruno Kiilerich	32



Leder

Forskning, udvikling og innovation i vandsektoren

Har vi råd til forskning, udvikling og innovation i fremtidens vandsektor – eller har vi netop ikke råd til ikke at forske, udvikle og innovere?

"Årlige effektiviseringskrav til vandsektoren betyder, at danskerne i 2017 sparer hele 231 millioner kroner på vand. Effektiviseringskrav siden 2011 har samlet set givet besparelser på 1,3 milliarder kroner årligt fra 2017 og frem." skriver Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet i en nyhed i marts i år.

Og fokus er rettet mod flere besparelser i vandsektoren. I "Forsyning for fremtiden", der er Regeringens strategi for forsyningsområdet i Danmark, beskrives yderligere et effektiviseringspotentiale på 2,5-3,0 mia. kr. med henvisning til en undersøgelse udført af McKinsey & Company og Struensee & Co.

Der har i en årrække været investeret i både store og små forsknings-, udviklings- og innovationsprojekter i vandsektoren, og intensiteten synes at være vedholdende – måske stigende. Men hvordan ser en business case for et forsknings-, udviklings- eller innovationsprojekt i vandsektoren ud? Bliver den overhovedet lavet, og ligger fokus på den økonomiske gevinst – eller bruger vi andre mål for succes? Og evalueres der på investeringen efter endt projekt?

I "Forsyning for fremtiden" skriver Regeringen blandt andet at, "Gennemførelsen af strategien vil understøtte, at forsyningssektoren efterspørger effektive løsninger, som vil give virksomhederne incitament til at udvikle konkurrencedygtige løsninger, der kan klare sig på det globale marked. Mere effektive forsyningssektorer ventes således at fremme teknologiudvikling og danske virksomheders eksport af forsyningsteknologi ved at skabe øget efterspørgsel på konkurrencedygtige løsninger."

Regeringens vægt synes til tider at lægge på effektiviseringspotentialet, men det fremhæves dog også, at "Strategien understøtter samlet set dansk eksport og teknologiudvikling samt et sammenhængende, fleksibelt energisystem og høj forsynings sikkerhed, høj miljøbeskyttelse, høje sundhedsstandarder og lave priser og vækst ..." (se også modstående figur fra strategien).

Hvilken rolle spiller forskning, udvikling og innovation i bestræbelserne på at følge Regeringens strategi? Kan og skal vandsektoren arbejde strategisk målrettet med forskning, udvikling og innovation – og er både rammer og incitamenter indrettet således, at det i givet fald er Regeringens strategi, vandsektoren forfølger?

Deltag i den kommende EVA-temadag den 21. september på Hotel Nyborg Strand, og hør eksempler på både statens, forsynings, rådgivers og universiteters syn på og tilgang til forskning, udvikling og innovation i vandsektoren.

Vi slutter dagen af med et inspirerende indlæg fra Nikolaj Sonne (foredragsholder, journalist og studievært, kendt fra bl.a. So ein ding på DR) om mulighederne i fremtidens teknologiske muligheder.

Vel mødt!
EVA-udvalget

En forsyningssektor
for borgere og virksomheder

Sammenhængende forsyning
og færre administrative byrder

Høj forsyningssikkerhed

Lave priser og vækst

Høj miljøbeskyttelse
og høj sundhedstilstand

Teknologiudvikling
og eksport



EVA-udvalget indbyder til EVA-temadag

Torsdag den 21. september 2017, Hotel Nyborg Strand

Forskning, udvikling og innovation i vandsektoren

Har vi råd til forskning, udvikling og innovation i fremtidens vandsektor – eller har vi netop ikke råd til ikke at forske, udvikle og innovere?

"Årlige effektiviseringskrav til vandsektoren betyder, at danskerne i 2017 sparer hele 231 millioner kroner på vand. Effektiviseringskrav siden 2011 har samlet set givet besparelser på 1,3 milliarder kroner årligt fra 2017 og frem," skriver Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet i en nyhed i marts i år.

Og fokus er rettet mod flere besparelser i vandsektoren. I "Forsyning for fremtiden", der er Regeringens strategi for forsyningsområdet i Danmark, beskrives yderligere et effektiviseringspotentiale på 2,5-3,0 mia. kr. med henvisning til en undersøgelse udført af McKinsey & Company og Struensee & Co.

Der har i en årrække været investeret i både store og små forsknings-, udviklings- og innovationsprojekter i vandsektoren, og intensiteten synes at være vedholdende – måske stigende. Men hvordan ser en business case for et forsknings-, udviklings- eller innovationsprojekt i vandsektoren ud? Bliver den overhovedet lavet, og ligger fokus på den økonomiske gevinst – eller bruger vi andre mål for succes? Og evalueres der på investeringen efter endt projekt?

I "Forsyning for fremtiden" skriver Regeringen blandt andet at, "Gennemførelsen af strategien vil understøtte, at forsyningssektoren efterspørger effektive løsninger, som vil give virksomhederne incitament til at udvikle konkurrencedygtige løsninger, der kan klare sig på det globale marked. Mere effektive forsyningssektorer ventes således at fremme teknologiudvikling og danske virksomheders eksport af forsynings teknologi ved at skabe øget efterspørgsel på konkurrencedygtige løsninger."

Regeringens vægt synes til tider at lægge på effektiviseringspotentialet, men det fremhæves dog også, at "Strategien understøtter samlet set dansk eksport og teknologiudvikling samt et sammenhængende, fleksibelt energisystem og høj forsynings sikkerhed, høj miljøbeskyttelse, høje sundhedsstandarder og lave priser og vækst ..."

En forsyningssektor
for borgere og virksomheder

Hvilken rolle spiller forskning, udvikling og innovation i bestræbelserne på at forfølge Regeringens strategi? Kan og skal vandsektoren arbejde strategisk målrettet med forskning, udvikling og innovation – og er både rammer og incitamenter indrettet således, at det i givet fald er Regeringens strategi, vandsektoren forfølger?

På den kommende EVA-temadag ser vi indledningsvist på det rammerne for forskning, udvikling og innovation. Brug anledningen til på forhånd at få kendskab til Regeringens strategi for vandsektoren www.regeringen.dk/aktuelle-dagsordener/forsyningsstrategi/.

Herefter oplever vi et eksempel på, hvordan der kan arbejdes strategisk med innovation i et samarbejde mellem forsynings-, rådgivere og entreprenører. I den del af dagen, vil vi afprøve nogle af de teknikker, der kan sætte rammerne for kreativitet og innovation, for i fællesskab at finde de væsentligste faglige udfordringer for fremtidens vandsektor.

Der vil også være indlæg om nogle af de mest aktuelle og spændende projekter, hvor det faglige indhold og resultater krydres med perspektivering i forhold til mål/strategier projekterne har haft afsæt i. Var de et produkt af en bevist strategi fra de involverede, eller hvilke drivere har været i spil? Ligeledes er det interessant, om projekterne har nået målene, og dermed været en succes!

Til slut vil vi blive inspireret om fremtidens teknologiske muligheder, som inspiration til at arbejde videre med forskning, udvikling og innovation efter temadagen. Inspirationen bliver givet under en kop eftermiddagskaffe med tilhørende kage af Nikolaj Sonne, Foredragsholder, journalist og studievært, kendt fra bl.a. So ein ding på DR.

Sæt kryds
i kalenderen
den 21. september 2017

Sammenhængende forsyning
og færre administrative byrder

Høj forsyningssikkerhed

Lave priser og vækst

Høj miljøbeskyttelse
og høj sundhedstilstand

Teknologiudvikling
og eksport

Nikolaj Sonne

Foredragsholder, journalist og studievært
Foredrag om teknologi og udvikling

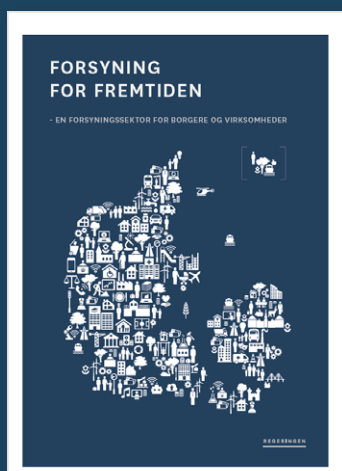
Nikolaj Sonne er en af Danmarks førende it-eksperter med skarpe holdninger og kommentarer til teknologi, trends og udvikling. Nikolajs begejstring og nysgerrighed for den teknologiske verdens fremskridt får ham til at fremstå meget personlig og original i sin evne til at kommunikere på. Gennem metaforer, ironi og passion formår Nikolaj på levende vis at videreformidle og tiltrække publikums opmærksomhed uanset interessen for gadget-verdenen!

Nikolaj er uddannet journalist, og arbejder til daglig på Danmark Radio, hvor han arbejder med fjernsyn om fremtiden.

Tidligere arbejdede Nikolaj som journalist og redaktør på gadgetmagasinet, GEAR, hvor han vandt FDIM's Bedste Danske WebTV tilbage i 2008.

Nikolaj modtog også DRs Sprogpris i 2011 for sin levende formidling af elektroniske produkter.

Derudover har han også lavet 9 sæsoner med gadget-tech programmet, So ein Ding.



Program

9:30 Kaffe/te og rundstykker

10:00 Velkomst og indledning

Morten Uggerby, EVA udvalget

Arbejdet med forskning, udvikling og innovation i vandsektoren

10:10 Rammerne for forskning, udvikling og innovation i vandsektoren

Jóannes Gaard, Miljøstyrelsen

Jóannes Gaard vil indlede dagen med fokus på rammerne for vandsektorens arbejde med forskning, udvikling og innovation. Jóannes vil bl.a. tale om:

- Hvad ved vi om omfanget
- Hvad betyder den nye vandsektorlov
 - og effektiviseringspotentialerne for vandselskabernes muligheder for at deltage i forskning, udvikling og innovation
- Hvilke muligheder giver MUDP
- Hvad ser regeringen som forskningsbehov frem mod 2025 – kort oprids af Forsk 2025.

10:40 Strategisk innovation i vandsektoren – erfaringer og hands-on

Karina Topp, Vandpartner.dk

I Vandpartner.dk arbejdes der målrettet med innovation efter en formuleret strategi og afprøvede metoder, der understøtter og sætter rammerne for kreativitet og innovation.

I dette indlæg vil Karina fortælle om baggrunden for denne tilgang, herunder hvilke drivere, der vejer tungt, når strategien lægges.

I denne del af programmet vil deltagerne prøve kræfter med nogle af værktøjerne, og vi vil i fællesskab arbejde med temaet 'Hvad er de væsentligste faglige udfordringer for fremtidens vandsektor?'

11:45 Frokost

Eksempler på resultater fra innovationsprojekter – og giver investeringerne de ønskede effektiviseringer?

12:45 EKG-system fra sundhedssektoren bruges til computerovervågning af pumpesystemer

Ole Neerup-Jensen, Aalborg Vandkoncern

Idéen med dette projekt var, at overføre kendte teknologier fra sundhedssektoren (EKG) til overvågning af pumpesystemerne i spildevands- og drikkevandsanlæg. Målet var at effektivisere vedligehold af systemerne, nedbringe perioder med driftsafbrydelser og optimere energiforbruget.

Projektets deltagere, Aalborg Universitet, Aalborg Forsyning (nu Aalborg Vandkoncern), Vestforsyning og EnviDan A/S, fik ud over egenfinansiering et tilskud på godt 2 mio. kr. fra VTUF til gennemførelse af projektet.

Ole vil i dette indlæg fortælle om projektet og ikke mindst perspektivere projektføløbet og resultatet (både fagligt og kommercielt) af projektet i forhold til vandsektorens behov for effektivisering og målrettet innovation set fra et forsyningsselskabs synsvinkel.

13:05 Fra forskning til værdi - Oversvømmelsesvarsling i Tønder*NN. Krüger*

Udfordringer med ændret klima adresserer et behov for både alternative, kosteffektive og supplerende løsninger i forhold til blot at øge rørstørrelserne i kloaknettet og lave terrænregulering. En af disse løsninger er implementering af varslingssystemer. Et oversvømmelsesvarselsystem vil give modtagere et forspring før hændelsen sker og dermed forbedre mulighederne for at nedbringe skadesomfanget inden oversvømmelsen indtræffer.

Et sådant varslingssystem blev udviklet i projektet OMOVAST (Operativ Model til Varsling og Styring), som var et samarbejde mellem BIOFOS, DMI, HOFOR, Nordvand og Krüger. Projektet blev gennemført med tilskud fra MUDP i perioden 2013 – 2016. Resultatet af udviklingsprojektet var udviklingen af varslingssystemet SURFF, som Krüger efterfølgende også har implementeret i Tønder, og det er resultater fra denne implementering, som vil blive præsenteret.

13:30 Udviklingsprojekter i vandsektoren set fra et universitet*Michael Rasmussen, Aalborg Universitet*

Eksempler på forsknings- og udviklingsprojekter, som Aalborg Universitet har deltaget i, med fokus på driver for opstart, fagligt indhold, resultater for projekterne. Michael vil også perspektivere projekterne ift. universiteternes motivation og mulighed for deltagelse i forskning og udvikling i samarbejde med vandsektoren.

13:55 Optankning af kaffe og eftermiddagskage**Afrunding****14:05 Fremtidens teknologi forandrer verden – også vandsektoren Teknologiens udvikling***Nikolaj Sonne, Foredragsholder, journalist og studievært*

Hvad er det, der er så attraktivt ved teknologi og udvikling? Den teknologiske udvikling forandrer sig hurtigere, end vi mennesker nogensinde har oplevet det før. Teknologien bliver konstant gjort hurtigere, smartere og bedre i kampen for at være foran konkurrenten. Men hvilken teknologi bør egentlig komme på butikkernes hylde, og hvilken teknologi bør ikke?

Foredraget er med til at give både de teknikinteresserede og de ikke-teknikinteresserede en liveoplevelse med markante holdninger til den teknologiske udvikling i forhold til, hvad der virker, og hvad der ikke virker – nærmere sagt, hvilken teknologi der aldrig skulle have set dagens lys på butikkernes hylder.

15:25 Afrunding og afsluttende bemærkninger*Morten Uggerby, EVA udvalget***15:30 Tak for denne gang og kom godt hjem****Deltagergebyr**

Medlem af EVA
1300 kr.

Øvrige
1500 kr.

Ingeniører,
Ikke medlem af IDA
3450 kr.

Studerende gratis

Tilmelding

Tilmeld dig på
IDAs hjemmeside

Hvor du opgiver

- Arrangement nr.
- Navn
- Adresse
- Tlf. nr.
- E-mail
- Helst fødselsdato
- Oplysning om du er ingeniør eller ej.

(Arrangementet
er åbent for alle)

Kalender

Faglige arrangementer

Faglige arrangementer for efterår og vinter 2017

Der henvises i øvrigt til de respektive kursusudbyderes hjemmesider for ajourføring af kursusdatoer, yderligere information samt tilmelding.

EVA arrangementer

- 8. feb. 2018 **Vandkvalitet, regnvandsbassiner, recipienter, stofbelastninger**
- 24. maj 2018 **Hvad får vi ud af klimatilpasning? Er det pengene værd? Bruges Skrift 31?**
- 20. sep. 2018 **Titel kommer senere**

DANVA

- 11. - 12. sep. **Afløbsoperatør Forum**
- 10. - 12. okt. **Nordiwa – Nordisk spildevandskonference 2017**
- 14. - 15. nov. **Dansk Vand Konference 2017**
- 30. - 31. aug. **Indtroduktion til vandforsyning Modul 1 – 2017**
- 13. - 14. sep. **Design og optimering af filtre – 2017**
- 18. sep. **Konference om nye krav til kontrol af drikkevandet**
- 25. - 26. sep. **ndvinding og produktion af vand Modul 2**
- 23. - 24. okt. **Praktisk tilsyn med anlægsarbejde indenfor drikkevand**
- 6. - 7. nov. **Distribution af vand Modul 3 – 2017**
- 11. sep. **Afløbsoperatør Forum**
- 18. - 19. sep. **Drift og vedligeholdelse af regnvandsbassiner**
- 20. - 21. sep. **Pumpesystemer – Modul 3**
- 27. - 28. sep. **Klimatilpasning og innovation af steder**
- 25. - 26. okt. **Medfinansiering af klimatilpasningsprojekter – Modning, opstart og planlægning/projektering**
- 25. - 26. okt. **Medfinansiering af klimatilpasningsprojekter – Gennemførelse og drift**
- 30. - 31. okt. **Klimatilpasning og innovation af steder**
- 30. - 31. okt. **Sikkerhed og sundhed – Modul 4**
- 27. - 28. nov. **Spildevandsbetalingsloven og vedtægterne**
- 28. - 29. nov. **Klimatilpasning og innovation af steder**
- 4. - 5. dec. **Kommunikation – Modul 5**

IDA Miljø

4. sep. **Den nye Planlov**
Mødested: IDA Mødecenter, København
7. sep. **Sensorteknologi i vandsektoren**
Mødested: Region Syd, Regionshuset, Vejle
25. sep. **Vækstplan for dansk akvakultur:
Perspektiver for erhverv og miljø**
Mødested: Hotel Propellen, Billund
28. sep. **Oversvømmelse – ser vi skriften på væggen**
Mødested: Aalborg
13. okt. **Kulturnatten**
Mødested: IDA Mødecenter, København
9. okt. **Rundt om FNs mål for bæredygtig udvikling**
Mødested: IDA Mødecenter, København
26. okt. **Alternative fakta i miljødebatten
– hvordan træffes beslutninger?**
Mødested: IDA Mødecenter, København
- Okt. **Nye vejledninger på miljøvurderingsområdet**
(Dato ikke fastsat) **Mødested: Aarhus**
16. nov. **Besøg på det Europæiske Miljøagentur**
Mødested: Det Europæiske Miljøagentur, København
23. nov. **Femern Bælt forbindelsen
– Metoder, værktøjer og erfaringer fra de sidste 8 års VVM arbejde**
Mødested: IDA Mødecenter, København
7. dec. **Ledelse der styrker**
Mødested: IDA Mødecenter, København

Teknologisk Institut

4. - 8. sep. **Afløbssystemer opbygning og funktion**
4. okt. **Drift og vedligeholdelse af LAR-anlæg**
23. - 24. okt. **Klimatilpasningsuddannelse**
1. - 2. nov. **Klimatilpasningsuddannelse**
14. - 15. nov. **Klimatilpasningsuddannelse**

Kalender

Faglige arrangementer

Ferskvandscentret

- 21. - 25. aug. **Grundkursus i spildevandsrensning inkl. introduktionsforløb**
- 29. - 30. aug. **Lokalplaner**
- 31. aug. **Pleje og vedligeholdelse af vandhuller og andre mindre vandområder**
- 4. - 5. sep. **Transportsystemer for spildevand**
- 12. sep. **Den nye Planlov**
- 18. sep. - 19. dec. **Videregående drift og optimering af pumpestationer**
- 19. - 20. sep. **Biogas**
- 20. sep. **Vandsektorloven - når vi bliver målt og vejet**
- 25. sep. **Forbehandling på renseanlæg**
- 26. - 27. sep. **Grundvandsbeskyttelse og indsatsplanlægning**
- 8. sep. **Slam som ressource**
- 2. - 4. okt. **Procesteknik 1**
- 3. okt. **Vibrationer og revner i afløbssystemer: En praktisk introduktion**
- 3. okt. **Miljøfremmede stoffer i jord og grundvand**
- 4. okt. **Risikovurdering med BRIBE**
- 5. - 6. okt. **Tilladelser til regnbetingede udledninger**
- 12. okt. **Vibrationer og revner i afløbssystemer: En praktisk introduktion**
- 23. - 24. okt. **Arbejds miljø i spildevandssektoren**
- 24. - 25. okt. **Bygge- og anlægsprojekter på forurennet jord**
- 25. - 26. okt. **Klimaforandringer og afløbssystemer**
- 31. okt - 1. nov. **Vandløbsopmåling**
- 1. nov. **Tilladelser til udledninger med miljøfarlige stoffer**
- 2. nov. **Forvaltningsret**

- 
2. nov. **Vandføringsmålinger**
6. - 8. nov. **Procesteknik 2**
7. nov. **Svovlbrinteproblemer**
7. - 9. nov. **Grundlæggende hydrogeologi**
8. nov. **Recipientbeskyttelse**
9. - 10. nov. **Vandløbslovgivning og -administration 2**
13. - 14. nov. **Afløbsoperatørens arbejdsmiljø**
14. - 15. nov. **Risikosamarbejde**
15. - 16. nov. **Mindre restaureringsprojekter**
21. - 22. nov. **VVM screening og redegørelse**
30. nov - 1. dec. **Grundlæggende hydraulik**
5. dec. **Vandløbsregulativer**
7. dec. **Temadag: Betalingslovens §4C**
11. - 12. dec. **Rådnetanke III**
22. - 26. jan. **Grundkursus i spildevandsrensning
inkl. introduktionsforløb**

Debat:

Regner vi for meget og måler for lidt?



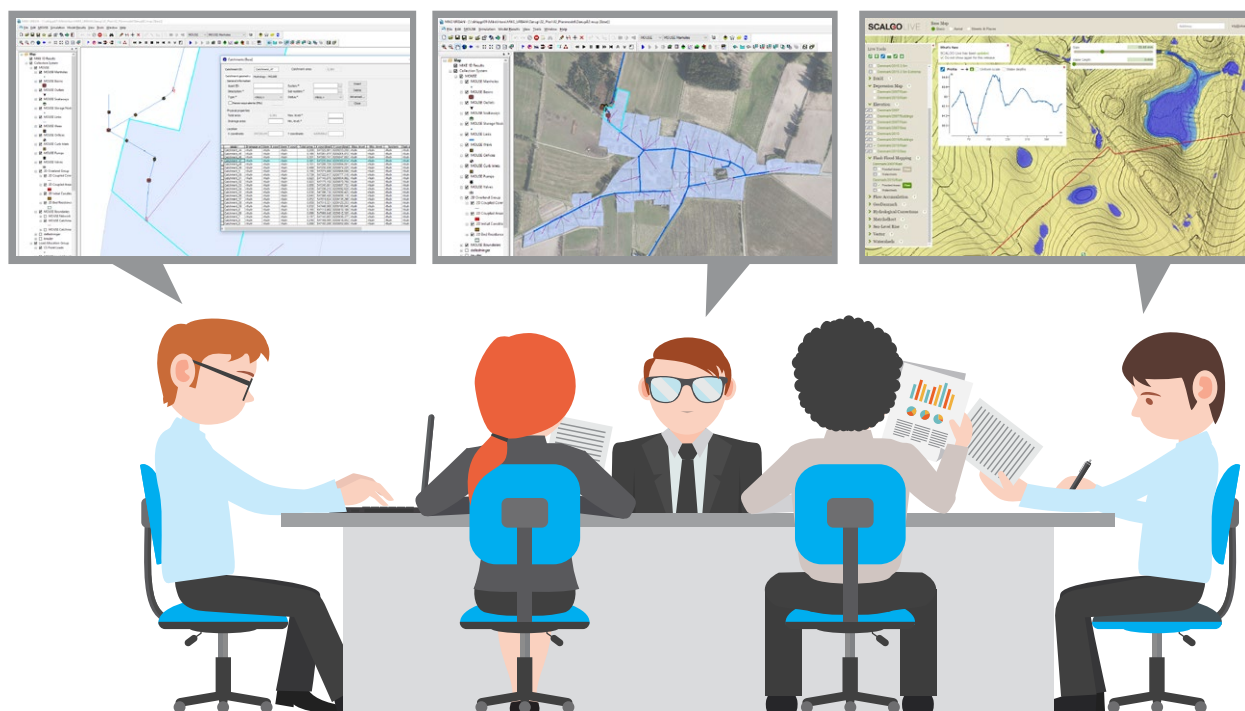
Af: Michael R. Rasmussen,
Professor, Institut for
Byggeri og Anlæg,
Aalborg Universitet

Regner vi for meget og måler for lidt?

Vi er mange der er meget begejstret for at modellere. Men udefra kan det godt virke påfaldende, hvor meget tillid vi tillægger vores modeller og hvor mange beslutninger der tages på baggrund af deres resultater. Modellerne er i deres rene form fantastiske: De har en række forudsætninger og baserer sig på anerkendte fysiske ligninger. Det er en klar og veldefineret verden, hvor man får det samme resultat under de samme omstændigheder.

Problemet er blot at virkeligheden har det med at afvige fra de antagelser der er i modellen. Så begynder vi at reparere på modellerne med forskellige empiriske led, der kompenserer for disse afvigelser. I begyndelsen er vi meget opmærksomme på at disse empiriske led skal underbygges af målinger som tager hensyn til de lokale forhold. Det er ganske udmærket og følger flere hundrede års ingeniørpraksis. I dagligdagen sker der blot en glidende bevægelse væk fra denne fremgangsmåde hen mod erfaringsværdier og standard indstillinger i programmer. De supplerende målinger er meget dyre at foretage og bliver som oftest fravalgt for at nå et mere acceptabelt udgiftsniveau.

En måde at forsøge at håndtere denne problemstilling på er ved at bruge stokastiske modeller, der antager at centrale parametre i modellen ikke kun kan antage én værdi, men har en fordeling – igen baseret på erfaring eller målinger. På den måde kan man vurdere usikkerheden af ens beregningsresultat. Det er et skridt i den rigtige retning, men det efterlader ingeniøren med det relevante spørgsmål: Hvilken fordeling skal jeg bruge? Ofte er én parameter erstattet af en middelværdi og en spredning – og dermed to nye ukendte værdier i stedet for én. Dette er dog mere generelle værdier, men man kan ikke altid sige at man er kommet tættere på sandheden.



Senest er vi begyndt at assimilere målinger ind i modellerne, således at grænsen mellem model og observation bliver utydelig – men det kan være emnet for et andet indlæg.

CFD modellerne begynder deres indtog i afløbsteknikken – og det er en god ting. Mængden af antagelser er færre og langt mere generelle end i dedikerede afløbsmodeller. Men det er omkostningsfuldt at bruge CFD: Modellerne er dyre i indkøb og kræver investeringer i personale og maskiner for at kunne gennemføre meningsfulde beregninger. Dernæst er det p.t. urealistisk at gennemføre beregninger for andet end mindre problemstillinger eller bygværker.

Vi kan på ingen måde undvære vores elskede modeller. De er én af hjørnestene i moderne afløbsteknik. Men vi bør overveje om noget af budgettet skal bruges på at måle mere i den virkelighed vi prøver at beskrive. Vi får bedre mulighed for at kalibrere og validere modellerne, når vi har enkelte målinger der viser et øjebliks billede af afløbssystemet. Men mere vigtigt – målingerne kan i sig selv indeholde vigtig information, der gør os klogere på systemernes funktionsmåde. Der bliver allerede målt i afløbssystemerne, men det er primært med henblik på drift af systemet og ikke nødvendigvis for at blive klogere på hydraulikken.

Måske skulle vi alle starte med at slette standard værdierne for parametrene i vore afløbsmodeller og fundere over hvad der vil være den rigtige værdi at bruge i den næste beregning vi skal i gang med.

Energital i skybrudstunnel på Østerbro

– *Kan Mike Urban håndtere energital i komplekse hydrauliske systemer?*



Af: Elham Ramin,
Sweco Danmark A/S

Københavns Kommune vil sikre byen mod skybrud ved, at der ikke må stå mere end 10 cm vand op af facaderne på ejendommene ved en 100 års regn om 100 år. Det stiller skrappe krav til de hydrauliske beregninger af de anlæg, der skal sikre byen.

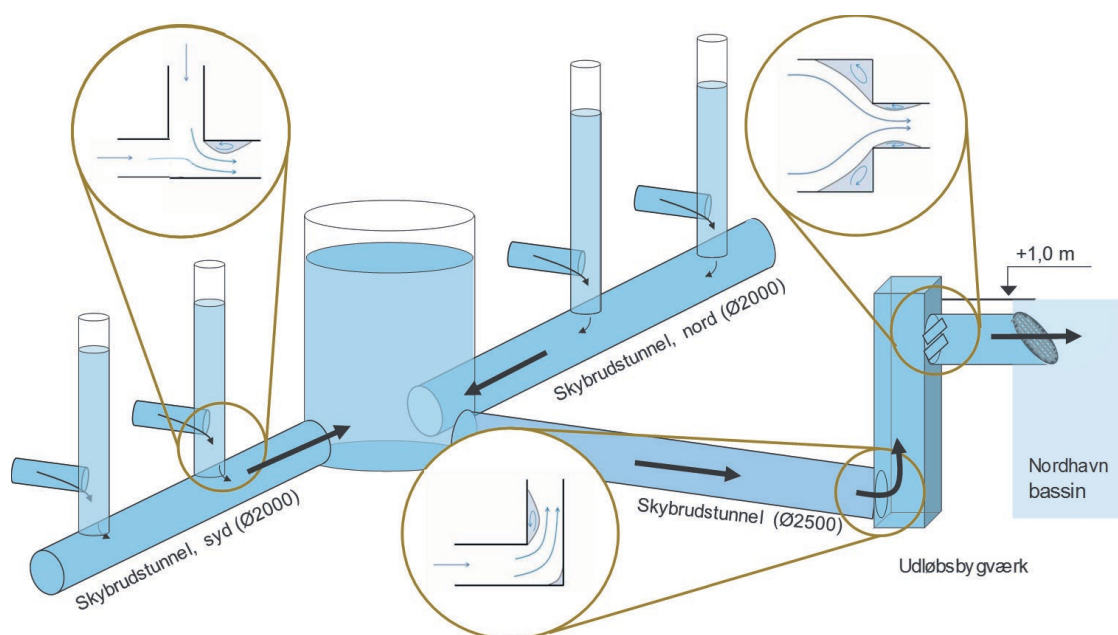
På indre Østerbro bliver rygraden i skybrudssikringen en stor tunnel under Strandboulevarden og Gl. Kalkbrænderi Vej. Tunnellen skal håndtere overfladevand fra vej-, plads- og tagflader ved ekstremregn og udlede vandet til havnen. For at sikre, at anlægget er hydraulisk byggbart – altså at de modellerede energital svarer til de reelle energital – er der gennemført omfattende kontrolberegninger af MU-modellen.

Udfordringer ved komplekse skybrudssystemer

Der er flere udfordringer ved etablering af skybrudstunnelen i indre Østerbro til at nå de hydrauliske mål ved kraftige regnhændelser. For det første ligger området tæt på havnen og tunnelen har dermed mindre gradient. Gradienten bliver endnu mindre om 100 år, hvor vandstanden i havnen forventes at stige ca. 1,0 m. For det andet ligger et jernbanestræk langs havnen og blokerer for at overfladevand kan løbe direkte til havnen. Der betyder at en større mængde vand skal ledes igennem skybrudstunnelen. Det giver et flow med stor hastighed og høj turbulens, og dermed større energital i tunnelen. Energital påvirker i høj grad transportkapaciteten i det konkrete hydrauliske skybrudssystem, hvor en stor vandmængde skal håndteres på kort tid.

De anvendte endimensionelle (1-D) afløbsmodeller (MIKE URBAN eller tilsvarende) giver en god bestemmelse af vandstrømning i afløbssystemer. Men spørgsmålet er, om 1-D afløbsmodeller udregner de tilstrækkelige enkelttab ved komplekse hydrauliske forhold i skybrudssystemer, f.eks. sammenføring til tunnelen, samlebrønde, udløbsbygværk osv., hvori flow med høje hastigheder skal igennem. MIKE URBAN kan dog tage hensyn til energital ved friktion og almenlige enkelttab.

På baggrund af overstående skal vi i dette system særligt være opmærksomme på at beregninger er præcise nok til at kunne beskrive det komplekse system og antage de faktiske energital. Sweco har dermed løst udfordringen ved at gennemføre håndberegninger af energitalene i systemet i en "steady-state" situation, der svarer til systemet med maksimum flow i Mike Urban. Herefter kan afløbsmodellen optimeres ift. energitalene i systemet, så der opnås den nødvendige detaljeringsgrad af den hydrauliske modellering.



Figur 1
Oversigt over skybrudstunnelen
og fokusområder ift.
energitabsberegninger

Systembeskrivelse af skybrudstunnelen på Strandboulevarden, Østerbro

Figur 1 viser en principskitse af ledningssystemet, hvor Ø2000 mm tunnelen fra det nordlige og sydlige område af Strandboulevarden samles i en Ø2500 mm tunnel i Gl. Kalkbrænderi Vej. Ved Østbanegade tilsluttes en eksisterende tunnel under banen frem til et udløbsbygværk med kontraskuffer inden udløb til havnen. Tunnelen er placeret ca. 3 til 10 m under jorden.

Under ekstreme regn bliver ledningssystemet fyldt og sat under tryk. Ved høje hastigheder bliver enkelttabene i ledninger og brønde betydelige, og energilinjens gradient bliver større end ledningens gradient og giver dermed anledning til tilbage- og opstuvninger. Når de ekstreme regn er afsluttet tømmes skybrudstunnelen ved pumpning, og skybrudsledningen kan skylles og være klar næste regnhændelse. Figur 1 viser fokusområder i systemet, hvor stort energitab forventes, altså sammenløb til tunnelen fra sidegaderne og i udløbsbygværk.

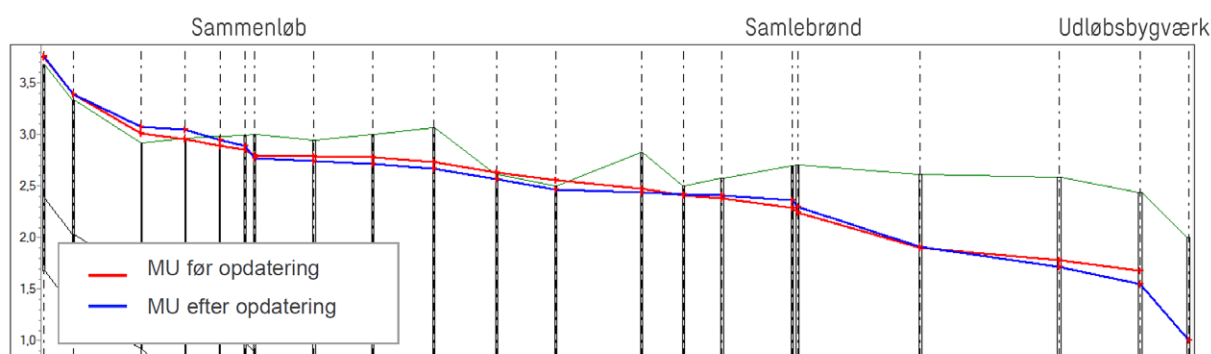
Teorien for enkelttab

Tryktab i turbulent flow er omtrent proportional med $(\text{hastighed})^2$ og ved brug af en empirisk modstandskoefficient kan beregnes til en ækvivalent højde, $\Delta H = K U^2 / 2g$. Modstandskoefficienten er bestemt ud fra fysiske modeller ved laboratorieforsøg, og kan aflæses i diagrammer som funktion af geometri- og/eller flow-forholdet.

Enkelttab er også afhængige af turbulens i systemet, som kan bestemmes af Reynoldstallet, der er forholdet mellem inerti- og de viskose kræfter. Reynoldstallet kan bruges som målestok for hydrauliske systemer med samme geometri-forhold.

Beregning af enkelttab

Beregningerne er baseret på D.S. Millers standard håndbog [1]. Bogen indeholder enkelttabskoefficienter, som kan aflæses i diagrammer for forskellige hydrauliske forhold. For at undgå overestimering af enkelttab, skal der tages højde for to vigtige korrektioner for enkelttabskoefficienter.



Enkelttab	Sammenløb*	Sammenløb	Samlebrønd	Udløbsbygværk	Friktion	I alt
	i stikledning	i tunnel				
MU før [m]	0,05	0,23	0,29	0,72	0,7	1,95 m
MU efter [m]	0,15	0,10	0,26	0,55	0,7	1,78 m

*fra Vordingborgsgade

Figur 2

Eksempel på enkelttabsberegninger i den nordlige tunnel før og efter justering af enkelttab i modellen.

Den første korrektion er relateret til Reynoldstallet. Typisk anvendes Reynoldstallet 10^6 for primære enkelttabskoefficienter i opslagstabeller, men dette er ikke altid tilfældes for et system. Som sagt er enkelttab meget afhængig af turbulens i systemet, hvorfor der ved andre turbulensforhold skal korrigeres for aflæste enkelttabskoefficient ved brug af en korrektionsfaktor. Dermed opnås korrigerede enkelttabskoefficienter ud fra de reelle Reynoldstalsværdier i systemet.

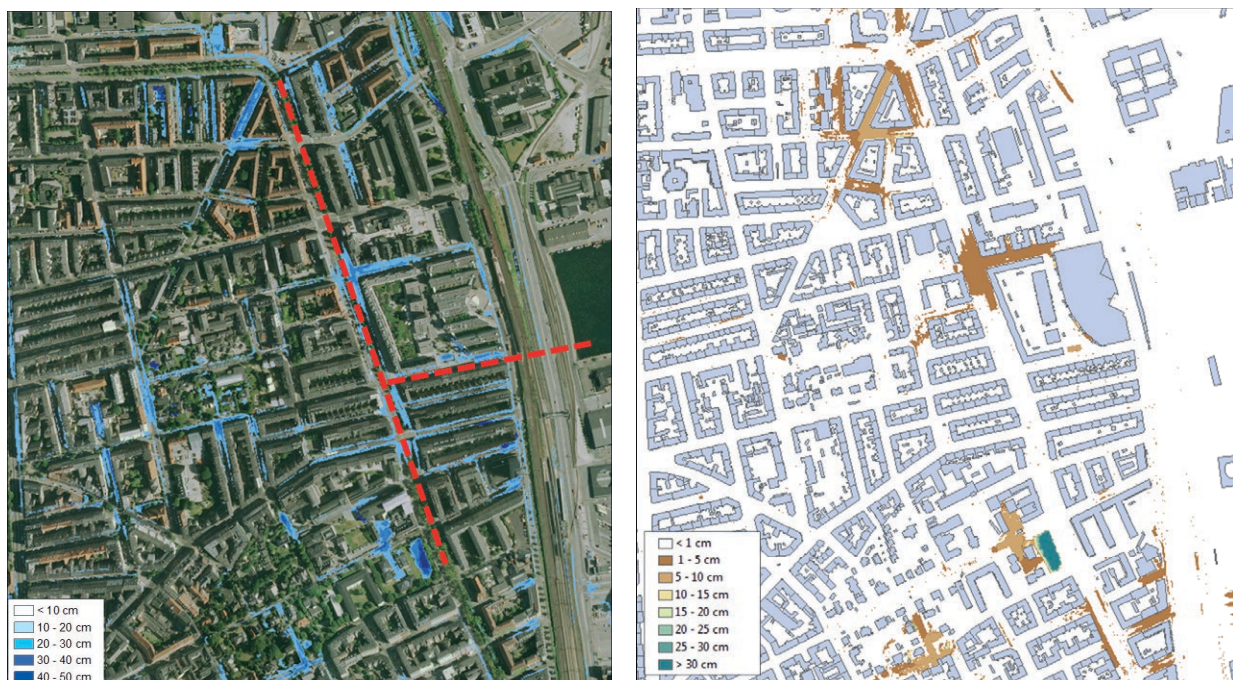
Den anden korrektion er relateret til interaktioner mellem enkelttab som ligger tæt på hinanden. Eksempelvis er der interaktion mellem to bøjninger, hvor afstande imellem er mindre en 30 gange ledningsdiameter. Dette sker f.eks. i udløbsbygværket i skybrudssystemet. Her løber flow igennem et lukket rektangulært kammer med to 90° bøjninger i indløb og udløb med ca. fem gange bygværks hydrauliske diameter imellem sig. Interaktionskoefficienten skal ganges i det samlede enkelttab i de to bøjninger, som giver 20-30 % mindre enkelttab. Baseret på Millers håndbog skal der også beregnes en interaktionskoefficient, når afstand imellem et t-stykke og en bøjning er kortere end fem gange ledningsdiameteren. Interaktionskoefficienten tilføjes til enkelttabskoefficienten i t-stykket for både flow fra sideledning og flow i tunnelen.

Optimering af Mike Urban model

Det maksimale energitab i systemet er håndberegnet ud fra en "steady state" maksimum afstrømning fra modellen og sammenlignet med de tilsvarende tab i modellen. Ved forskel mellem håndberegninger og modelresultater, kan modellen justeres ved opdatering af koefficienter eller ved brug af fiktive elementer.

For eksempel er tilslutningerne til tunnelen i Mike Urban problematiske at beregne, da enkelttab i en brønd estimeres ved enkelttab i udløbet. Dermed gives samme enkelttab i begge flow i sideledning og i tunnelen, som ikke svarer til virkeligheden. Enkelttabet i sideledningen kan justeres f.eks. ved brug af en fiktiv brønd og en indsnævring før tilslutning til tunnelen. Man skal bemærke at enkelttab i tilslutningerne er afhængig af både geometri- og flow-forhold. Derfor skal enkelttab i modellen justeres igen når maksimum flow i systemet er meget anderledes.

Figur 2 viser resultaterne af energigradienter før og efter justering på enkelttab i modellen for den nordlige tunnel på Strandboulevarden. Resultatet viser at den oprindelige model har overestimeret enkelttab langs tunnelen på grund af sammenløb fra sidegaderne, samt i udløbsbygværket. Til gengæld har modellen underestimeret enkelttabet i sideledningerne.

**Figur 3**

Estimering af vandstuvning i terræn ved 100-års CDS regn af optimeret model (venstre) og vandstuvningsforskel mellem modellen efter og før optimering ift. energitab (højere)

Effekt af optimering på flood beregninger

Det er udført oversvømmelse beregningerne ved 100 år CDS regn af Mike Urban modellen. Venstre figur i Figur 3 viser resultaterne hvor vandstuvning i terræn er mere en 10 cm, og dermed manglende opfyldelse af skybrudsfunktionskravet. For det meste sker vandstuvningen på gaderne langt væk fra udløbet på grund af stort enkelttab i systemet og mindre gradient i tunnelen.

Effekt af enkelttab beregningerne på estimering af oversvømmelse er vist i højere figur i Figur 3, hvor resultaterne af modellen efter og før optimering er tragt af hinanden. Forskel på vandstuvning er mere betydelig i lavtliggende områder, hvor vandet stuver op til 10 cm mod hussoklerne. Resultaterne viser at de større enkelttab i tilslutningerne til tunnelen leder til mere vandstuvning i sidegaderne.

Konklusion

Energitab beregninger er vigtig for kontrol af hydrauliske bygbarhed af skybrudssystemer, hvor der er mindre gradient og komplekse bygværker. Mike Urban kan tage højde for almindelige enkelttab, men bør tjekkes med teori ved håndberegning i bygværker med komplekse hydrodynamisk forhold, og under ekstreme regn hændelser (stor hastighed). Analyse af energitab kan også hjælpe med at finde optimale løsninger til at minimere energitab i skybrudssystemer.

Til sidst skal bemærkes at håndberegningerne er "steady state" og tager dermed ikke hensyn til de dynamiske variationer i flowet som Mike Urban. Dette er særligt tilfældet ved skybrudssystemer med store hastigheder, ændringer eller særligt kritiske forhold. Derfor kan enkelttab beregningerne med fordel verificeres af dynamiske beregninger, f.eks. ved brug af CFD.

Reference

[1] Miller DS. Internal Flow Systems. Bedford, UK: BHRA (Information Services); 1990.

Statistik metode til valg af overpumpning kapacitet



Af: Aage Lundgaard
Jørgensen, ARWOS



Af: Ida Bülow
Gregersen, Rambøll

Når afløbssystemet skal fornyes, er der under anlægsarbejdet ofte behov for overpumpning eller omkobling. I tilfælde af overpumpning bør valget af pumpekapacitet baseres på en række forskellige overvejelser.

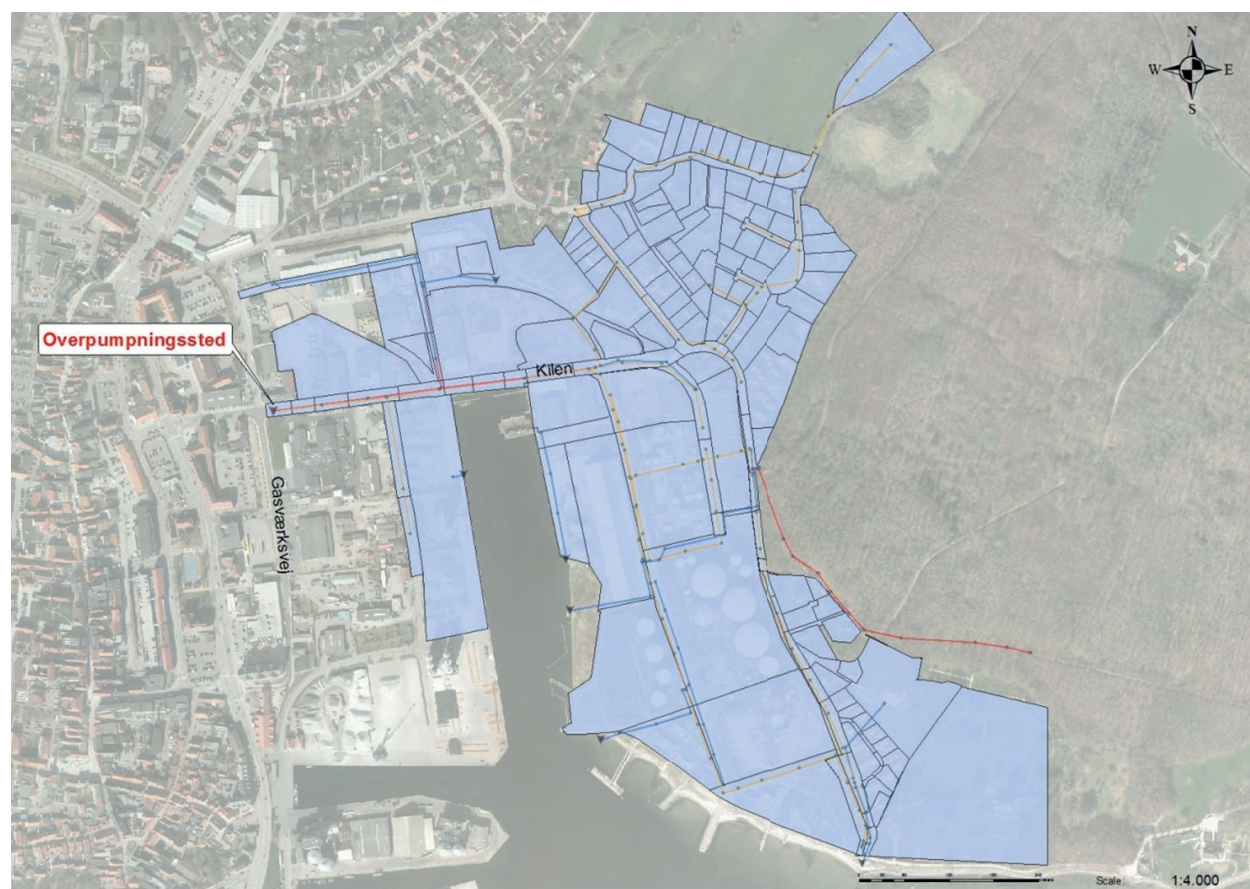
Motivation og baggrund

Når afløbssystemet skal fornyes, er der under anlægsarbejdet ofte behov for overpumpning eller omkobling. I tilfælde af overpumpning bør valget af pumpekapacitet baseres på en række forskellige overvejelser. Først og fremmest kan pumpen i sig selv være både dyr i anskaffelse og drift, hvilket giver incitament for at vælge en lav pumpeydelse. Dog bør risikoen for at vælge en pumpeydelse, der viser sig at være utilstrækkelig – og konsekvenserne heraf – også tages i betragtning.

Nærværende artikel diskuterer en metode til valg af pumpeydelse for overpumpning under hensyntagen til både årstiden og hvor mange dage, det forventes, at overpumpning skal forløbe over. Metoden illustreres ved et eksempel i Aabenraa, hvor Aabenraa forsyning (ARWOS) i maj måned 2016 stod overfor at skulle vælge en overpumpningskapacitet for en afskærende ledning, der afvander et industriområde på godt 10 red. ha i den østlige del af byen, se figur 1. Oplandet til ledningen er fælleskloakeret.

Langtidssimuleringer i MikeUrban og vurdering af variation i den maksimale vandføring over året

For langt de fleste større danske byer har forsyningen opbygget en hydraulisk model; typisk i MIKE URBAN. Gennem hydrauliske beregninger kan den maksimale vandføring, på den strækning hvor overpumpningen skal finde sted, vurderes. Overpumpningslokaliteten bør ved beregningen behandles som et frit udløb. Hvis lokaliteten ligger i den øvre del af afløbssystemet, er beregningstiden derfor begrænset, selv om LTS beregninger for større byer kan være tidskrævende.

**Figur 1**

Oplandet til den afskærende ledning langs Kilen i Aabenraa hvor der i maj 2016 blev udført overpumpning.

Som grundlag for beregningen vælges en historisk regnserie efter Spildevandskomiteens forskrifter. Den hydrauliske model køres som en langtidssimulering (LTS), ligesom ved beregning af gennemsnitlige årlige aflastninger fra spildvandssystemet til en recipient; i dette tilfælde er det blot den maksimale vandføring på den relevante strækning, der gemmes for hver regnhændelse. Ud fra beregningerne opnår man et statistisk overblik over vandføringerne gennem den årrække, som beregningerne er udført for. Da nedbørsmønstret er sæsonafhængigt, kan man med fordel opdele resultaterne i måneder, så der tages højde for den naturlige variation over året.

Gentagelsesperiode og sandsynlighed

For alle uafhængige hændelser i regnserien haves efter LTS beregningen et estimat af den maksimale vandføring (Q_{\max}). Uafhængighedskriteriet defineres, når LTS beregningen sættes op i MIKE URBAN. Det vælges ud fra kendskab til de hydrauliske forhold i modelområdet.

Serien med Q_{\max} deles op efter hvilken måned hændelsen fandt sted. For hver måned sorteres og rangordnes hændelserne, således at den største hændelse tildeles rang $M=1$. Endvidere kendes det totale antal observationsdage for den pågældende måned (N) baseret på observationsperioden korrigeret for udfald. Hændelsens gentagelsesperiode (T) er relateret til rang og observationsperiode:

$$T[\text{dage}] = \frac{N[\text{dage}]}{M [-]}$$

Ud fra definitionen på gentagelsesperioder vil der i gennemsnit hver T'ende år observeres en maksimal vandføring, der er lig med eller større end $Q_{\max,T}$. Endvidere er sandsynligheden p for at observere en vandføring Q_A der er lig eller større end $Q_{\max,T}$ på en given dag i den pågældende måned defineret som:

$$p = p(Q_A) = \frac{1}{T}$$

Dette under forudsætning af, at de enkelte Q_{\max} 'er optræder på forskellige dage.

I langt de fleste tilfælde strækker den arbejdsperiode, hvor overpumpning eller omkobling er nødvendig, sig over mere end blot en enkel dag. Når pumpeydelsen vælges, bør man tage stilling til, hvor højt et sikkerhedsniveau man ønsker, defineret ud fra sandsynligheden for at den valgte pumpekapacitet **ikke** overskrides i den planlagte arbejdsperiode (n). Ved hjælp af binomialfordelingen kan man tage arbejdsperiodens forventede længde [dage] i betragtning.

Binomialfordelingen er gældende, når der er to mulige udfald; succes eller fiasko.

Et velkendt eksempel er kast med terning, hvor det f.eks. kan betragtes som en succes, når man slår en 6'er. Sandsynligheden for succes er i dette tilfælde 1/6. Ved anvendelse af binomialfordelingen kræves endvidere, at sandsynligheden for succes er den samme i hvert forsøg, samt at udfaldet af forskellige forsøg er uafhængige af hinanden. Når binomialfordelingen er gældende, kan sandsynligheden (P) for antallet af succeser (x) ud af n forsøg udregnes som:

$$P(X = x) = \binom{n}{x} p^x (1 - p)^{n-x}, x = 0, 1, 2, 3, \dots, n$$

hvor

$$\binom{n}{x} = \frac{n!}{x! (n - x)!}$$

Som et konkret eksempel på anvendelse er sandsynligheden for at slå præcis én 6'er i ti forsøg:

$$P(X = 1) = \binom{10}{1} 1/6^1 (1 - 1/6)^{10-1} = 0,32$$

Trods ironien forbundet med definitionen i sig selv kan man ud fra samme princip lave en vurdering, hvor det er forekomsten af en 2 års hændelse under anlægsarbejdet, der betragtes som en "succes". Sandsynligheden for at observere en 2 års hændelse på en given dag er:

$$p = \frac{1}{2 \cdot 365} = 0,0014$$

Sandsynligheden for, at der optræder 0 hændelser gennem en periode på 10 arbejdsdage er dermed:

$$P(X = 0) = (1 - p)^n = (1 - 0,0014)^{10} = 0,9864$$

Sandsynligheden for 0 hændelser falder naturligvis med arbejdsperiodens længde – det betyder, at sandsynligheden for, at en hændelse af denne størrelse faktisk indtræffer under anlægsarbejdet, dermed stiger.

Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
42	34	58	70	42	151	174	162	138	27	25	3

Tabel 1

Nedbrudstider for SVK måler 5235 [dage] på månedsbasis

Beregning af overpumpningskapacitet

Førnævnte betragtning er dog ikke direkte anvendelig i forhold til valg af overpumpningskapacitet, da forekomsten af ekstremregn er stærkt sæsonafhængig. I stedet benyttes rangen for de ved LTS beregningen bestemte Q_{\max} , således at:

$$P(X = 0) = \left(1 - \frac{M}{N}\right)^n$$

Ved beregning af overpumpningskapaciteten skal der først tage stilling til, hvor højt et sikkerhedsniveau, (P_{sik}), der ønskes. Ved P_{sik} fastlægges sandsynligheden for, at Q_{\max} ikke overskrider pumpeydelsen i den planlagte arbejdsperiode (n) – dette fordi P_{sik} er et arbitrært valg af størrelsen af $P(X = 0)$. Med udgangspunkt i den valgte P_{sik} beregnes den korresponderende rang, M_{sik} , og overpumpningskapaciteten vil herefter kunne bestemmes som: $Q_{(\max, M_{\text{sik}}+1)}$.

Valg af pumpekapacitet i Aabenraa

I Aabenraa benyttes i henhold til spildevandsplanen SVK måler 5235 til LTS beregninger. Tabel 1 viser nedbrudstider for måleren – på månedsbasis – gennem de 37 år, den har været aktiv.

Når nedbrudstiden tages i regning, er der i alt observationer for 1105 dage i maj måned. Tabel 2 viser den rangordnede liste med de maksimale vandføringer (Q_{\max}) i den afskærende ledning, angivet på figur 1, for denne måned. Hvis man f.eks. ønsker et sikkerhedsniveau på 0,96 viser beregningen, at man skal vælge en pumpekapacitet på mindst 0,455 m³/s, når arbejdsperiodens længde er 9 dage. Er arbejdsperioden derimod 15 dage, skal man vælge en pumpekapacitet på mindst 0,475 m³/s for at opnå samme sikkerhed. Til sammenligning viser tabel 3 den rangordnede liste med de maksimale vandføringer i den afskærende ledning for november måned. Her vil man kunne nøjes med en pumpekapacitet på mindst 0,249 m³/s og stadig opnå et sikkerhedsniveau på 0,96.

Variationen af Q_{\max} fra måned til måned er knyttet til sæsonvariation af regn. Højintens, kortvarige konvektive byger, forekommer ofte i sommermånederne, hvorimod kraftig regn med høje intensiteter for de længere varigheder også forekommer i for- og efteråret.

Hvilken regnvarighed, der bliver afgørende for den maksimale vandføring i en given ledning, afhænger af koncentrationstiden for ledningens opland. For den afskærende ledning i Kilen i Aabenraa er koncentrationstiden vurderet til under 30 minutter. Dermed er det forventeligt, at de højeste vandføringer i den pågældende ledning vil forekomme i sommermånederne.

Hvis anlægsarbejdet strækker sig over flere måneder, bør man selvfølgelig opdele Q_{\max} fra LTS beregningen, således at alle de kalendermåneder, der er relevante, samles.

Tabel 2
Rangordnede maksimale
vandføringer for maj måned

Rang (M)	T = N/M	P{X = 0} for n = 9	P{X = 0} for n = 15	Q _{max} Maj
[-]	[dage]	[-]	[-]	[m ³ /h]
1	1108	0.992	0.987	1.487
2	554	0.984	0.973	0.599
3	369	0.976	0.960	0.536
4	277	0.968	0.947	0.475
5	222	0.960	0.935	0.472
6	185	0.952	0.922	0.455
7	158	0.945	0.910	0.440
8	138	0.937	0.897	0.386
9	123	0.930	0.885	0.361
10	111	0.922	0.873	0.361
11	101	0.915	0.862	0.352
12	92	0.907	0.850	0.351
13	85	0.900	0.839	0.335
14	79	0.893	0.827	0.312
15	74	0.886	0.816	0.288

Valg af sikkerhedsniveau

Metoden beskrevet ovenfor giver ikke nogen retningslinjer for, hvordan man skal vælge sit sikkerhedsniveau. Dette bør være en case-specifik vurdering. I tilfælde af, at der i anlægsperioden forekommer en eller flere beregnede regnhændelser, hvor den valgte overpumpningskapacitet er utilstrækkelig, bør opstuvningen opstrøms i systemet vurderes. Vil dette føre til overløb til nærliggende recipient, vand i kælderen i ejendomme i området eller vil vandet blot stuve op gennem vejbrønde, løbe på terræn og samle sig i lavpunkter, hvor det ikke gør nævneværdig skade? Det bør i den forbindelse også tages i betragtning, om der i området findes kritiske infrastrukturer eller specielt sårbare servicefunktioner.

Ovenstående kan i de fleste tilfælde vurderes ud fra kendskab til området og tidligere analyser af risiko. Der er selvfølgelig altid den mulighed, at man i MIKE URBAN modellen indfører den begrænsning, som pumpekapaciteten giver og udfører et par beregninger for kritiske gentagelsesperioder. Dette blev ikke gjort for det pågældende anlægsarbejde i Aabenraa. I stedet blev resultatet af tidligere risiko og følsomhedsanalyser anvendt.

Disse er offentligt tilgængelige på:

www.aabenraa.dk/borger/natur-og-miljoe/vand/klimatilpasning/kortgrundlaget/.

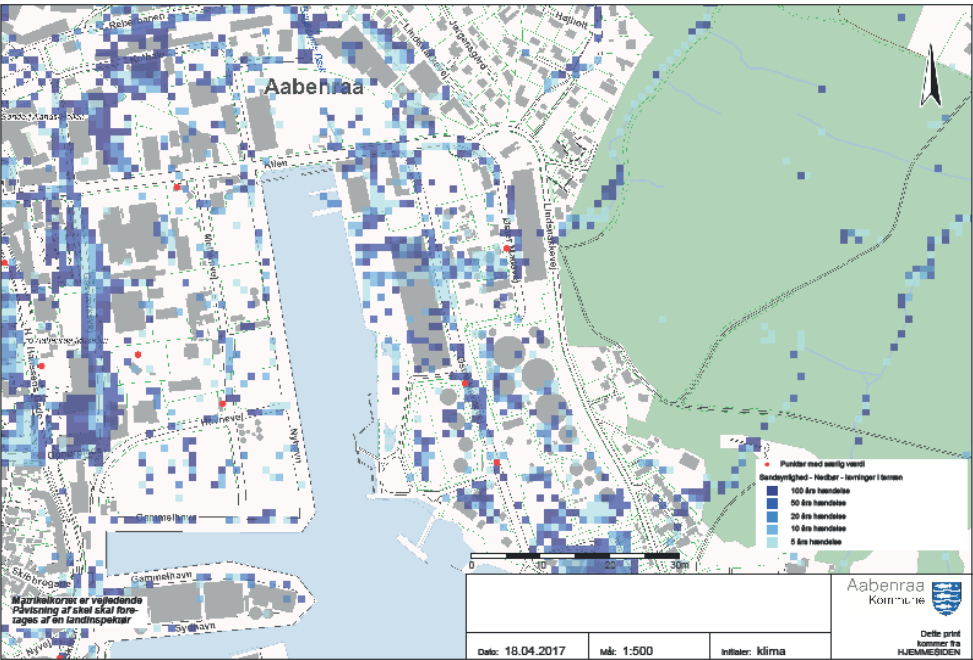
Oplandet til den afskærende ledning i Kilen i Aabenraa dækker både et industrikvarter, parcel- og rækkehuse med kælder samt enkelte liebhaverboliger med udsigt til Aabenraa fjord. Tre punkter i oplandet er blevet klassificeret som "punkter med særlig værdi", se figur 2. Flere steder i oplandet er der endvidere områder, som vurderes at være oversvømmelsestruet allerede ved en 5 års hændelse, se figur 2. Derfor anses oplandet til Kilen som sårbart, og et højt sikkerhedsniveau bør derfor anvendes.

Rang (M)	T = N/M	P{X = 0} for n = 9	P{X = 0} for n = 15	Q _{max} Maj
[-]	[dage]	[-]	[-]	[m³/h]
1	1055	0.992	0.986	0.442
2	527	0.983	0.972	0.294
3	352	0.975	0.958	0.27
4	264	0.966	0.945	0.261
5	211	0.958	0.931	0.259
6	176	0.950	0.918	0.249
7	151	0.942	0.905	0.247
8	132	0.934	0.892	0.244
9	117	0.926	0.880	0.235
10	105	0.918	0.867	0.233
11	96	0.910	0.855	0.231
12	88	0.903	0.843	0.211
13	81	0.895	0.831	0.206
14	75	0.887	0.820	0.202
15	70	0.880	0.808	0.191

Tabel 3
Rangordnede maksimale
vandføringer for november måned

Konklusion

Den præsenterede metode giver et solidt og beregningsbaseret grundlag til valg af overpumpningskapacitet, hvor det er muligt både at tage hensyn til årstiden for anlægspe-
rioden, anlægsperiodens længde og oplandets sårbarhed. Metoden er med succes blevet
anvendt i Aabenraa, hvor der i foråret 2016 skulle vælges en overpumpningskapacitet for
den afskærende ledning i Kilen.



Figur 2
Sandsynlighedskort for et
Sandsynlighedskort for et
udsnit af Aabenraa der dækker
oplandet til Kilen. Kortet er udarbejdet
i 2013 som en del af kommunens
Klimatilpasningsplan og kan findes
på www.aabenraa.dk/borger/natur-og-miljoe/vand/klimatilpasning/kortgrundlaget/.

Automatiseret simplificering af 1D hydraulisk model

– med hensyn til 1D-2D oversvømmelsesberegninger



Af: Roland Löwe,
DTU Miljø



Af: Steffen Davidsen,
DTU Miljø



Af: Cecilie Thrysøe,
DTU Miljø



Af: Karsten Arnbjerg-
Nielsen, DTU Miljø

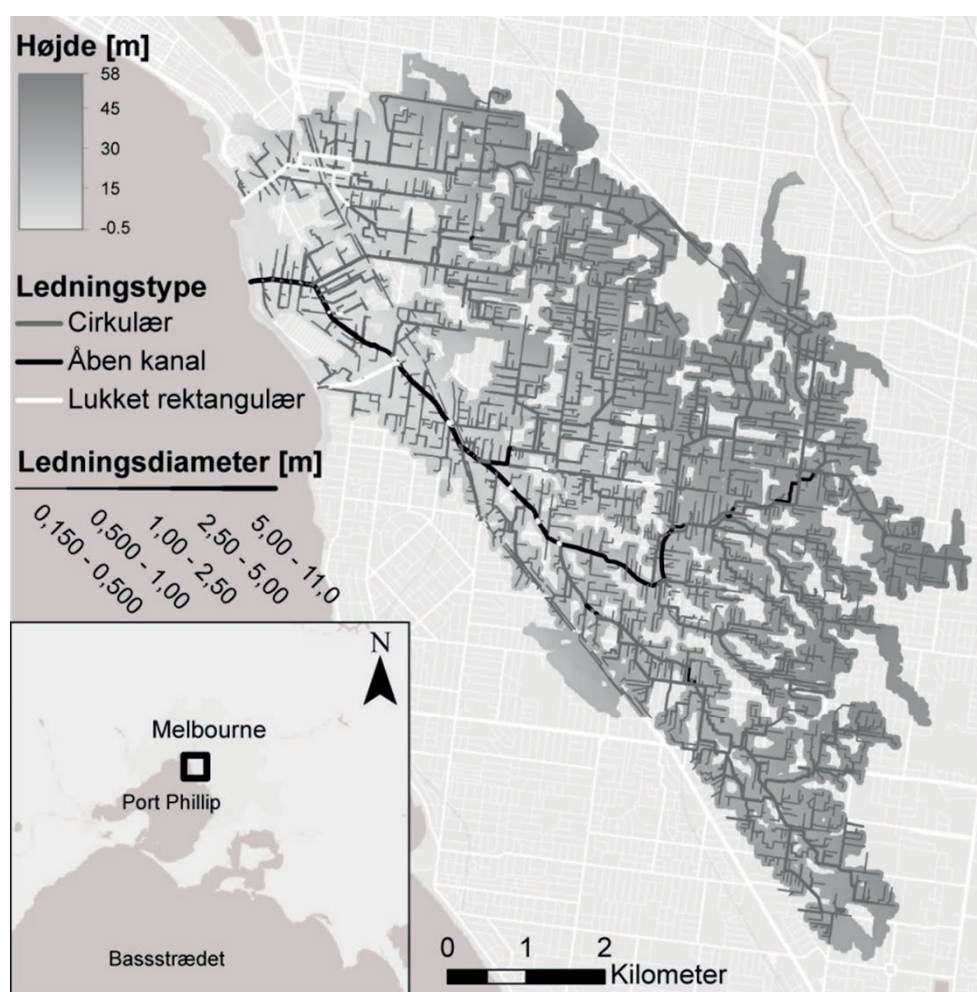
1D-2D modeller har udviklet sig til at være standardværktøjet for oversvømmelsesberegninger. Modellerne giver en god beskrivelse af vandets bevægelser på overfladen, men de er også beregnings-tunge. Især til varselsformål og til scenarieberegninger i planlægningen er der et behov for simple, hurtigere modeller.

Der er udviklet adskillige versioner af simplificerede 2D modeller (Chen *et al.*, 2012; Ghimire *et al.*, 2013), men simplificerede 2D modeller vil ofte bruges i kombination med en simplificeret repræsentation af ledningsmodellen. Derudover vil man i praksis ofte stå i den situation, at detaljegraden af den 1D model der bliver brugt til 1D-2D beregninger, bliver afgjort af, for eksempel, hvilke data man har adgang til, i stedet for hvilken præcision man skal bruge til formålet. Af begge grunde er vi interesserede i, hvordan forskellige detaljeniveauer af 1D modellen påvirker 1D-2D beregninger. Denne analyse er formålet med denne artikel.

Automatiseret simplificering af 1D hydraulisk model

Opsætningen af simplificerede 1D modeller skal gerne, så vidt som muligt, foregå på automatiseret vis og bruge de data som i dag er tilgængelige i ledningsdatabaser og detaljerede hydrauliske modeller. For vores arbejde har vi derfor implementeret en algoritme (SAHM – "Simplification Algorithm for 1D Hydraulic network Models") der bruger to metoder til simplificering af et ledningsnet:

1. Trim – finder grene i ledningsnettet, hvor alle rørdiametre er mindre end en brugerdefineret størrelse og fjerner grenene fra modellen.
2. Merge – finder ledninger, der er kortere end en brugerdefineret tærskel og forbundet til højst én anden ledning ved hver ende, og kombinerer ledningerne med naboledningen.



Figur 1
Testopland i Melbourne, Australien med højdekort og regnvandsledninger.

I begge tilfælde tildeles oplande, der var forbundet med fjernede knudepunkter, til det næste nedstrøms knudepunkt. Vi har implementeret et modul til at beregne transporttiden langs de fjernede dele af ledningsnettet og til at forsinke regn inputtet til de respektive oplande tilsvarende, dog uden at det påvirkede beregningsresultaterne særligt. Vi har ligeledes implementeret et modul, hvor vi kompenserer for reduktionen af netværksvolumen, som følge af fjernede ledninger og knudepunkter, ved at forøge diameteren af knudepunktet nedstrøms. Også denne kompensation viste sig ikke at have nævneværdig effekt på beregningsresultaterne.

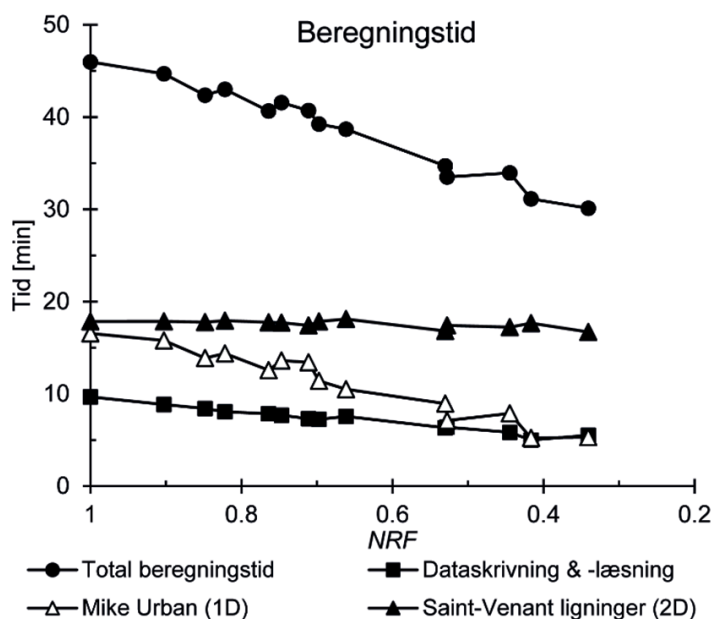
Algoritmen er implementeret i Python og blev udviklet til brug med MIKE Urban databaser. En detaljeret beskrivelse af algoritmen findes i (Davidsen *et al.*, 2017) og kildekoden kan downloades fra <https://gitlab.gbar.dtu.dk/rolo/NetworkCleaning>.

Test setup

Vi har anvendt simplificeringsalgoritmen på oplandet for Elster Creek i Melbourne, Australien. Oplandsarealet er cirka 45 km². Udgangspunktet for vores analyser var en 1D-2D model med 13.000 ledninger og en 2D cellestørrelse på 10m. Ledningsnettet er et separat regnvandssystem. Modellen er implementeret i MIKE FLOOD 2014 FM og er illustreret i Figur 1.

I oplandet forekommer oversvømmelser fra både hav og ekstremregn. I beregningerne vist her, har vi dog kun taget de oversvømmelser i betragtning, der følger af kraftige regnhændelser.

Figur 2
Simuleringstid som funktion af netværksreduktionsfaktoren (NRF). Figuren viser såvel total beregningstid som beregningstid for henholdsvis 1D og 2D delene af modellen og beregningstid brugt for datahåndtering.



Vi har anvendt SAHM til at generere 1D modeller med forskellige simplificeringsgrader for testområdet i Australien. Modellerne blev genereret ved at anvende forskellige tærskelværdier i kombination for henholdsvis ledningsdiameteren i trimming og ledningslængden i merging. I det følgende bruges forkortelsen *TxxxMxxx* for at kendetegne, hvilken tærskel blev anvendt i simplificeringen. For eksempel, i en 1D model med betegnelsen *T300M050* er alle grene der kun indeholder diameter mindre end 300 mm fjernet fra modellen, og alle ledninger med længder under 50 m forbundet med deres naboer. Tilsvarende betyder symbolet *MXXX* at der ikke er foretaget merging.

Som mål for simplificeringsgraden i en model har vi anvendt netværksreduktionsfaktoren NRF, der beskriver, hvor mange elementer en reduceret 1D model indeholder sammenlignet med den oprindelige model:

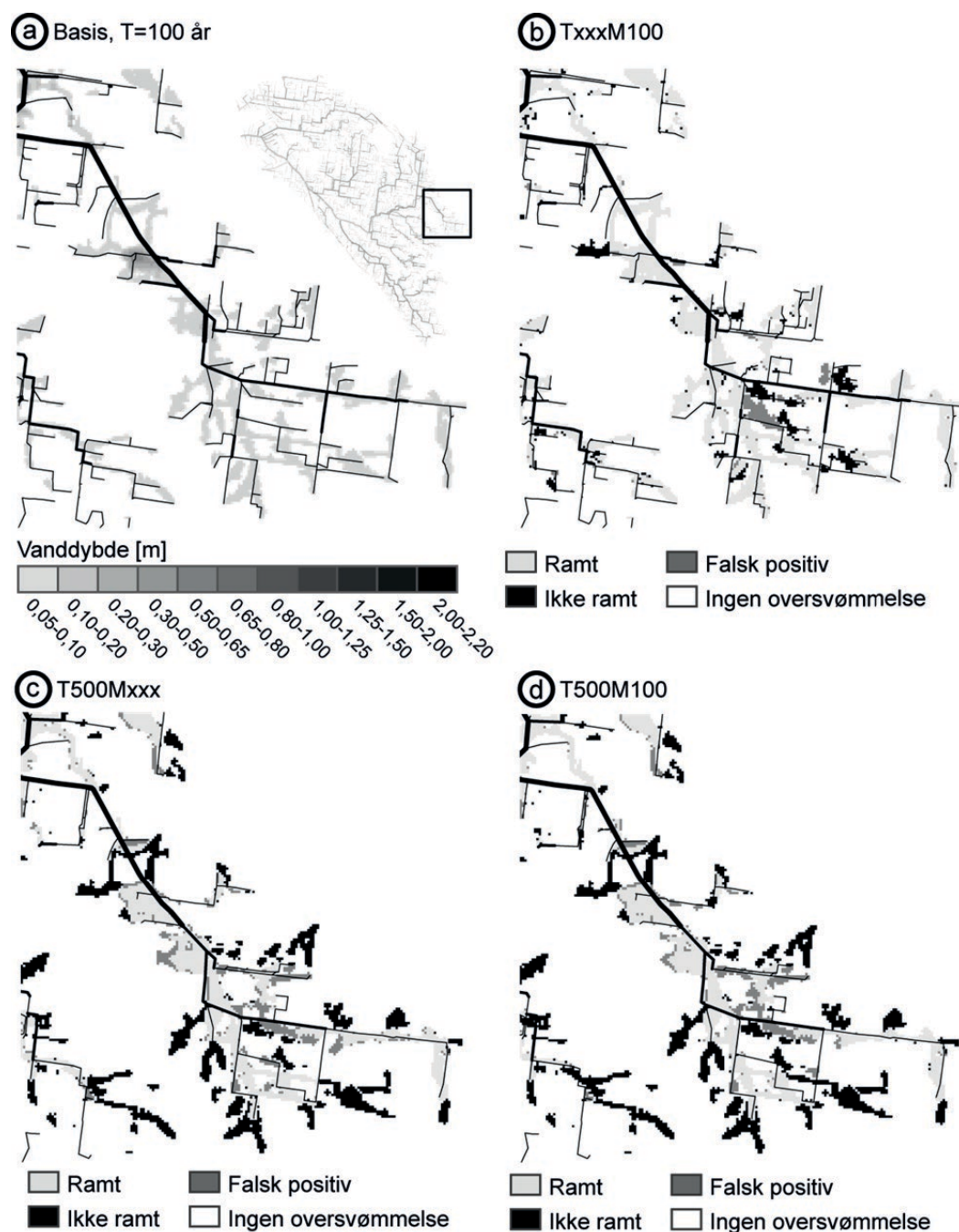
$$NRF = \frac{(\text{antal elementer i reduceret model})}{(\text{antal elementer i oprindelig model})}$$

Vi har brugt den samme 2D overfladebeskrivelse for alle simuleringer.

Beregningsresultater

Figur 2 viser beregningstiden for en 1D-2D simulering som funktion af simplificeringsgraden af 1D modellen, udtrykt som NRF. Simplificeringen af 1D modellen har i vores beregninger medført en væsentlig reduktion af den samlede beregningstid for 1D-2D modellen. Denne reduktion skyldes en reduktion af beregningstiden for 1D modellen og omfanget af data der skal gemmes og udveksles mellem 1D og 2D modellen. Beregningstiden af 2D modellen er konstant, hvilket betyder at reduktionen af den samlede beregningstid vil være væsentlig mindre hvis der anvendes en 2D model med højere opløsning og derfor længere beregningstid.

Figur 3 sammenligner de oversvømmelsesarealer, der er simuleret af basis modellen og af forskellige simplificerede modeller i et mindre udsnit af oplandet. Det fremgår af Figur 3b at resultatet for en model, hvor ledninger med en længde under 100 m er blevet forbundet med deres naboledninger, ligner meget beregningsresultatet af basismodellen. Der er lokale forskelle i hvor oversvømmelse er simuleret her, men de overordnede mønstre ligner hinanden.

**Figur 3**

Oversvømmelsesarealer simuleret af modeller med forskellig simplificeringsgrad.

a) Vanddybde simuleret af basismodellen, b-d) Sammenligning af oversvømmelsesarealer simuleret af basismodellen og forskellige reducerede modeller. Cellerne er farvet afhængig af om oversvømmelse er blevet simuleret i begge modeller (ramt - lysegrå), kun i basis modellen (ikke ramt - sort), eller kun i den simplificerede model (falsk positiv - mørkegrå).

Der er dog tydelige forskelle mellem resultaterne hvis man anvender trimming (Figur 3c). Modellen kan ikke længere simulere oversvømmelser i arealerne opstrøms. Det skyldes at simplificeringsalgoritmen har fjernet ledningsnettet i disse områder fra modellen, og dermed er der i disse områder ikke længere mulighed for at vand kan stuve op på terrænet fra 1D modellen. Anvender man merging og trimming i kombination, får man det samme resultat (Figur 3d).

Til evaluering af klimatilpasningsprojekter vil man normalt være interesseret i at beregne forventede årlige skadesomkostninger (EAD) (IDA Spildevandskomiteen, 2017) baseret på oversvømmelsesarealer simuleret af 1D-2D modellen. Ofte vil EAD kun i mindre grad blive påvirket af lokale forskydninger i de beregnede oversvømmelsesarealer, fordi det alligevel er de samme ejendomme, der bliver oversvømmet i modellen. For at illustrere denne effekt har vi beregnet EAD for hele oplandet baserende på regnhændelser med gentagelsesperioder på 2, 5, 10, 20 og 100 år, både for basis modellen og for forskellige simplificerede modeller. Figur 4 viser hvordan EAD, beregnet ved hjælp af de simplificerede modeller, adskiller sig fra EAD beregnet ved hjælp af basis 1D-2D modellen.

Alle simplificerede modeller giver en mindre EAD end basismodellen, da simplificeringsalgoritmen fjerner knudepunkter fra modellen. Dermed er der færre steder hvor 1D og 2D modellen kan udveksle vand, og de simulerede oversvømmelsesarealer er generelt mindre for de modeller hvor ledningsnettet er simplificeret. Det kan ses at beregningerne med modeller hvor kun merging er anvendt, fører til en EAD, der kun er få procent anderledes end for basismodellen, selvom man fjerner op til 30% af ledningerne fra 1D modellen. Merging bevarer den overordnede struktur af ledningsnettet og de simplificerede modeller simulerer dermed overordnet de samme oversvømmelsesarealer som basismodellen.

Anvender man modeller hvor trimming er brugt til simplificeringen, kan man fjerne cirka 15 % af ledningsnettet uden at påvirke EAD for meget. I vores model svarer det til en tærskel på 300 mm for hvor stor en ledningsdiameter der må findes i en gren, for at grenen bliver fjernet fra modellen. Anvender man en større tærskel, fjerner man for store dele af ledningsnettet og risikerer væsentlige ændringer i den beregnede EAD.

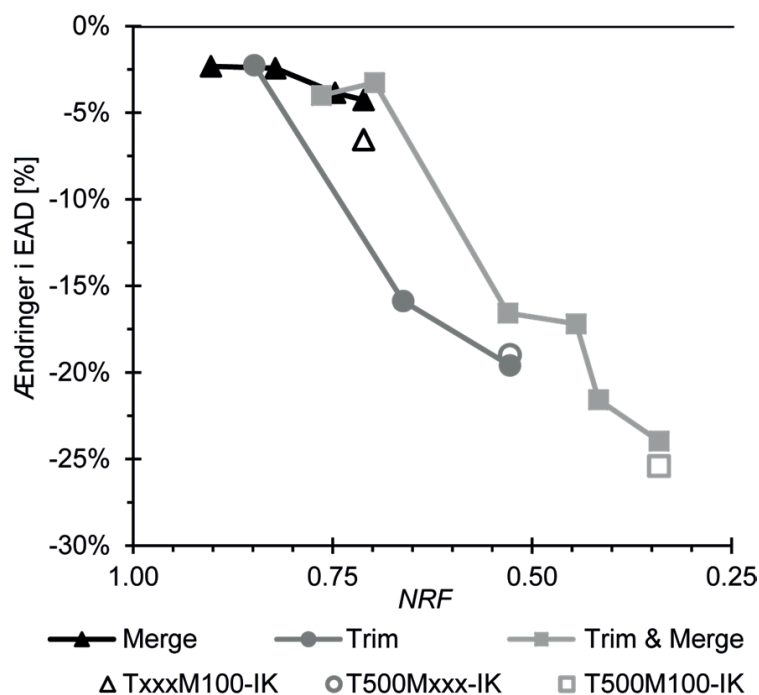
Konklusion

Vi har udviklet en algoritme til automatiseret simplificering af 1D modeller. En hydraulisk model med 13,000 ledninger kan dermed simplificeres indenfor få minutter, ved at anvende trimming, merging eller en kombination af begge algoritmer.

Vi har vist, at simplificeringen af 1D modellen fører til en væsentlig reduktion af den samlede beregningstid for en 1D-2D-simulering. Reduktionen vil dog kun påvirke den samlede beregningstid signifikant, såfremt man arbejder med en 2D model, der enten kun dækker et mindre område, eller har en grov opløsning.

I simplificeringen af 1D modellen fjernes dele af ledningsnettet og dermed også knudepunkter hvor 1D og 2D modellen kan udveksle vand. De simplificerede modeller har derfor en tendens til at simulere færre oversvømmelser end basismodellen. Denne tendens er særlig udpræget hvis man fjerner store grene af nettet ved hjælp af trimming. Ved merging bevarer man til gengæld den overordnede netværksstruktur, og i det eksempel vi analyserede, var de beregnede skadesomkostninger stort set de samme som ved brug af den fulde model.

Simplificeringsalgoritmen kan forbedres, f.eks., med kriterier som sikrer at der bevares mindst et knudepunkt i oversvømmelsesområder og ved at teste algoritmen i fællessystemer.

**Figur 4**

Ændring i forventede årlige skadesomkostninger (EAD) for hele oplandet. Beregningerne er baseret på simuleringresultater fra modeller hvor der kun er anvendt henholdsvis merging (sort) og trimming (mørkegrå), og hvor begge simplificeringer er anvendt i kombination (lysegrå). Punkterne med notationen "IK" er modeller, hvor der ikke er foretaget kompensationer for tidsforskydelser og volumentab i forbindelse med simplificeringen.

Litteratur

Chen, A. S., Evans, B., Djordjevic, S. and Savić, D. a. (2012) 'Multi-layered coarse grid modelling in 2D urban flood simulations', Journal of Hydrology, 470–471, pp. 1–11. doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.06.022.

Davidsen, S., Löwe, R., Thrysoe, C. and Arnbjerg-Nielsen, K. (2017) 'Simplification of one-dimensional hydraulic networks by automated processes evaluated on 1D/2D deterministic flood models', Journal of Hydroinformatics, online. doi: 10.2166/hydro.2017.152.

Ghimire, B., Chen, A. S., Guidolin, M., Keedwell, E. C., Djordjevic, S. and Savić, D. a. (2013) 'Formulation of a fast 2D urban pluvial flood model using a cellular automata approach', Journal of Hydroinformatics, 15(3), p. 676. doi: 10.2166/hydro.2012.245.

IDA Spildevandskomiteen (2017) Skrift nr. 31 - Metoder til bestemmelse af serviceniveau for regnvand på terræn. København, Danmark.

Svovlbrinte-udfordringer

– *ved centralisering og energi-optimering af spildevandsnetværk*

DEL 3



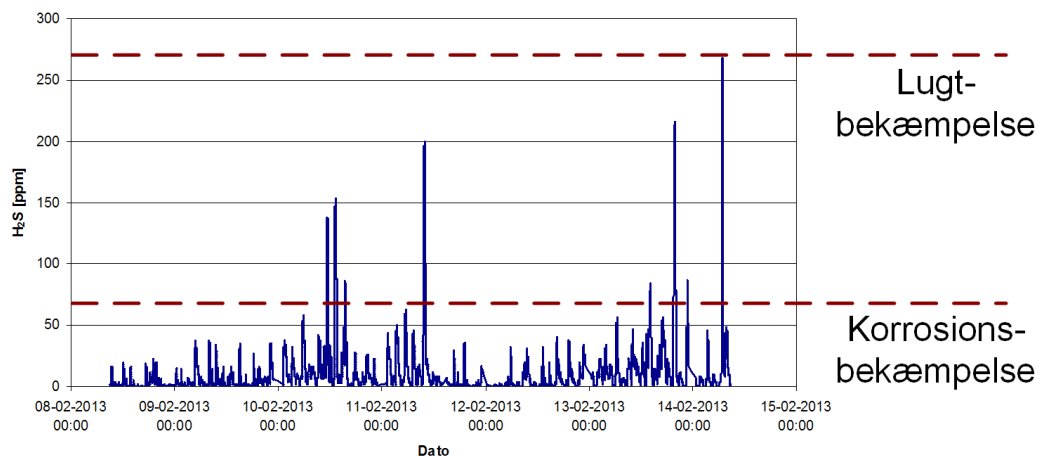
Af: Bruno Kiilerich,
Erhvervs PhD studerende
Aalborg Universitet/Grundfos

Ved centraliseringen af spildevandsrensningen fra mindre byer og spredt bebyggelse bliver man, grundet topografien i Danmark, nødt til at pumpe spildevandet.

Baseret på informationerne fra Del 1 og Del 2 kan samtlige spildevandsledninger i oplandet analyseres, og der kan udarbejdes en svovlbrinte masterplan; en plan der synliggør, hvor sulfidgener med stor sandsynlighed kan forekomme i systemet. Analysen kan kombineres med eventuelle borgerhenvendelser og visuelle inspektioner af systemerne, hvorved man får et samlet overblik over, hvor de faktiske problemer er størst og dermed hvor man bør prioritere sin indsats. Men før man kan træffe et valg omkring, hvordan man bør sætte ind, er der nogen essentielle ting, der skal overvejes, da bekæmpelsesstrategien i værste fald ellers slet ikke kommer til at virke.

Hvad bekæmpes der for – lugt eller korrosion?

Først skal man fastlægge, om man på en given lokalitet ønsker at bekæmpe svovlbrinte på grund af de lugtgener det kan medføre, om man ønsker at reducere svovlbrinte på grund af korrosions potentialet eller om det er en kombination. Denne overvejelse har stor betydning for den koncentrationsgrænse man kan acceptere i systemet, og dermed hvilke svovlbrinte koncentrationer man skal sætte ind overfor (Figur 1).

**Figur 1**

Eksempel på svovlbrintemålinger fra en oppumpningsbrønd. De svovlbrinte koncentrationer der ligger under de røde stiplede linjer, indikerer de niveauer, der skal håndteres såfremt man ønsker at reducere henholdsvis korrosion eller lugtgener.

Ønsker man at begrænse korrosionen, gælder det om at minimere den konstante tilstedeværelse af svovlbrinte. I sådanne tilfælde kan man godt acceptere enkelte høje koncentrationer af svovlbrinte af og til, da korrosionen som følge af disse vil være negligneligt.

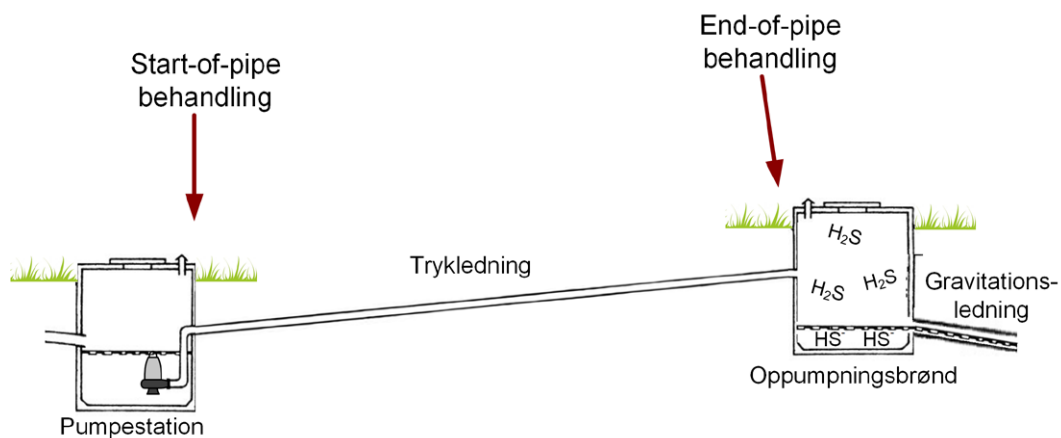
Ønsker man derimod at reducere lugtgenerne, skal man til enhver tid kunne eliminere selv de højeste svovlbrinte koncentrationer eller i hvert fald sørge for, at de ikke slipper ud af kloakken.

Bekæmper man for lugtgenerne, bekæmper man afhængig af den valgte bekæmpelsesstrategi, i nogen tilfælde samtidig for korrosion. Men det omvendte gælder ikke nødvendigvis. Typisk vil bekæmpelsen være en kombination af begge parametre, hvor det er et økonomiske spørgsmål omkring, hvilken indsats man ønsker at gennemføre på den specifikke lokalitet.

Ofte bør man i denne overvejelse stille følgende spørgsmål:

- Er forekomst af svovlbrinte acceptabelt på en given lokalitet, samt i hvor høje koncentrationer
- Hvor store er generne ved lugt fra systemet / hvor højt et serviceniveau ønsker man at opretholde
- Hvor store er udgifterne forbundet med korrosion af systemet

Når disse spørgsmål er besvaret, har man fokuseret sin indsats, indsnævret antallet af mulige bekæmpelsesstrategier og samtidig lavet en prioritering af, hvor mange ressourcer man bør putte ind i håndtering af problemet på den enkelte lokalitet.



Figur 2
Definition af start-of-pipe
og end-of-pipe behandling.

Layout af spildevandssystemet

En anden vigtig parameter i valget af bekæmpelsesstrategi er layout af spildevandssystemet. Harmonerer den valgte bekæmpelsesstrategi ikke med layout, vil man opleve at bestræbelserne med den opsatte bekæmpelsesmetode kan være forgæves. Det er et sammenspil mellem layout og den ønskede bekæmpelsesmetode, der afgør, om man får en effektiv bekæmpelse. Det er ligeledes disse to parametre, der afgør om man skal lave start-of-pipe eller end-of-pipe behandling på spildevandssystemet (Figur 2).

Når man bruger kemikaliedosering til håndtering af problemet er dette af praktiske årsager i forhold til elektricitet, plads til udstyr og kemiopbevaring etc. typisk udført i forbindelse med selve pumpestationen. I spildevandssystemer uden forgreninger imellem hovedpumpestationen og oppumpningsbrønden, vil denne start-of-pipe behandlingsstrategi kunne løse svovlbrinteproblemet, da alt spildevandet bliver behandlet med det tilsatte kemikalie (Figur 3).

Er spildevandssystemet derimod forgrenet vil man opleve en mangelfuld bekæmpelse. Dette skyldes, at spildevandet, der pumpes ind på hovedledningen fra side pumpestationerne ikke blandes med det kemikalie, der tilsættes til spildevandet ved hovedpumpestationen (Figur 4). Derfor vil den mængde af sulfid, der er dannet i en sideledning transporteres ubehandlet ned til oppumpningsbrønden og her blive frigivet og give gener.

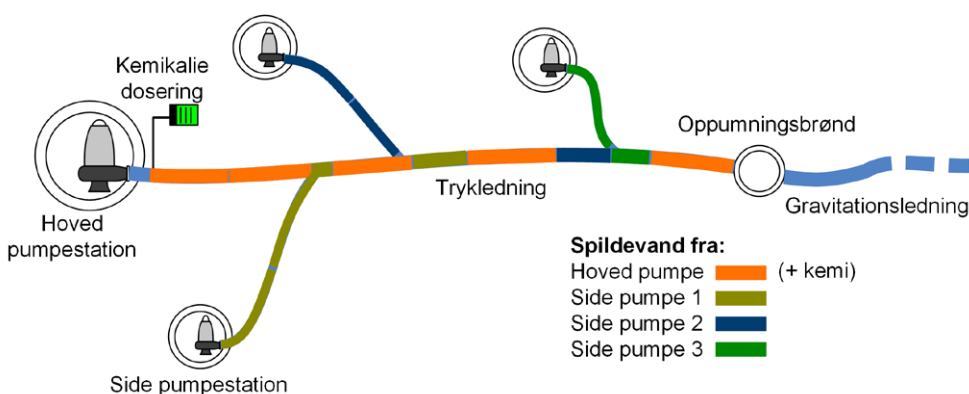
Skal et sådan system behandles, skal man enten have kemikaliedosering på alle side pumpestationerne (Figur 5) eller man skal overveje at bruge en end-of-pipe behandlingsstrategi.

Kan man godt gøre (ved beregning eller simulering af systemet), at sulfidproblemerne kun skyldes én specifik pumpestation i det forgrenede system, kan man etablere kemikaliedosering på denne ene station og derved opnå den ønskede bekæmpelse med start-of-pipe behandling.

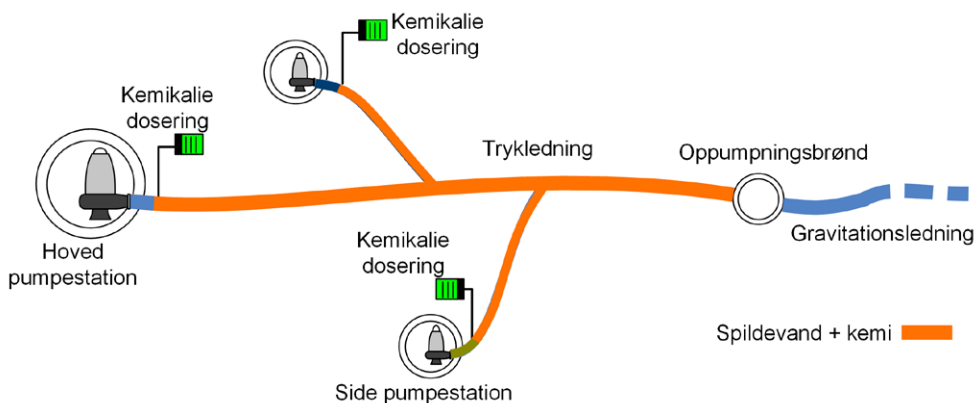
Det er ikke altid muligt at lave et systemdesign, der helt reducerer svovlbrintedannelse og eksisterende spildevandssystemer kan heller ikke umiddelbart ændres, når de er blevet lagt i jorden. Derfor er det vigtigt, at man kender til forskellige metoder til bekæmpelse af sulfidgenerne samt deres fordele, og udfordringer. Omvendt kan denne viden også indgå i overvejelserne omkring, hvordan system layout af et nyt spildevandsnetværk skal være, såfremt man har præference for at benytte en given bekæmpelsesstrategi.

**Figur 3**

Eksempel på start-of-pipe behandling af en trykledning uden forgreninger.

**Figur 4**

Skitse af hvorfor en start-of-pipe behandlingsstrategi vil give mangelfuld bekæmpelse i et forgrenet tryksat spildevandssystem.

**Figur 5**

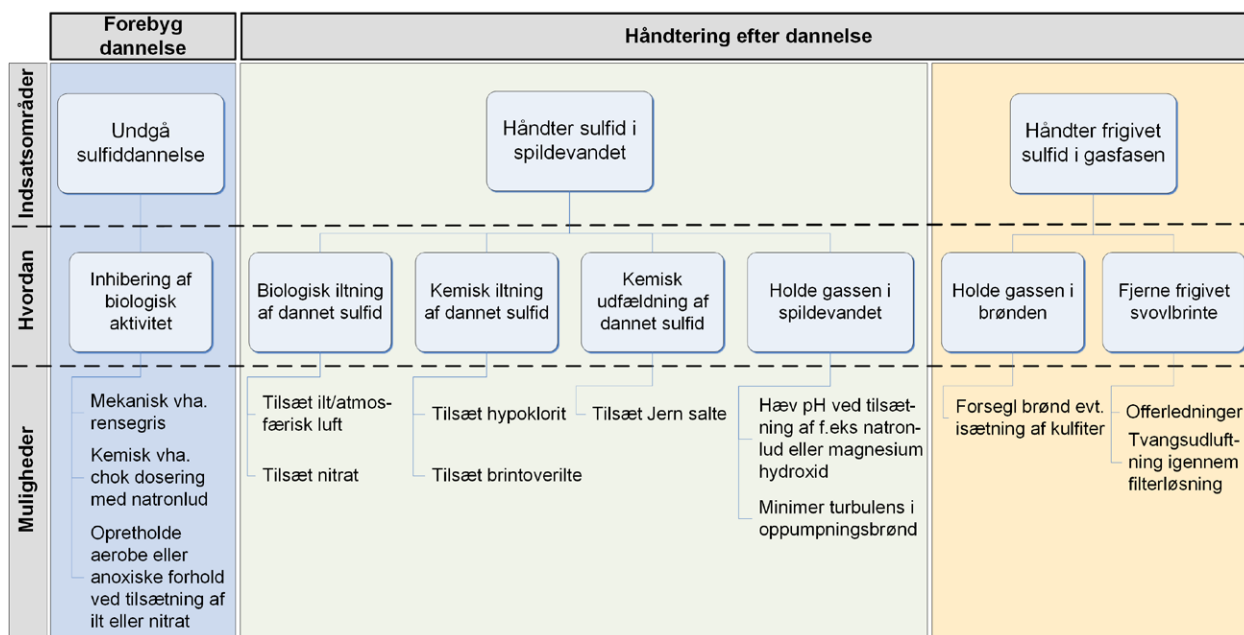
Skitse af hvordan en start-of-pipe behandlingsstrategi skal bruges på et forgrenet tryksat spildevandssystem for at opnå en effektiv bekæmpelse.

Mulige bekæmpelsesstrategier

Tilgangen til håndtering af sulfid kan grundlæggende deles op i to strategier:

- Forebyg at svovlbrinte dannes
- Håndter svovlbrinte efter, at det er blevet dannet

Den sidste strategi kan yderligere underopdeles i to, nemlig håndtering af sulfid i spildevandet og håndtering af sulfid i gasfasen. Dette giver i alt tre overordnede indsatsområder for svovlbrintebekæmpelse som skitseret på Figur 6. Ud fra system layout samt beslutningen omkring, hvorfor der bekæmpes (lugt, korrosion eller en kombination) skal man finde ud af, hvilket indsatsområde, der giver mening for en pågældende lokalitet, samt efterfølgende beslutte hvilken metode/r, der ønskes benyttet.

**Figur 6**

Skematisk oversigt over de tre mulige indsatspunkter til håndtering af svovlbrinte, samt udvalgte måder hvorpå dette kan gøres

Ovenstående figur (6) er ikke en komplet liste over de muligheder, der findes til svovlbrintebekæmpelse, men den giver et overblik over de mest anvendte metoder.

For udvalgte metoder giver fakta-bokse (side 37) et overblik over, hvor på trykledningen en installation bør udføres for at have effekt, hvad den er effektiv overfor samt fordele og udfordringer herfor.

Afrunding

For at kunne forudsige hvordan centralisering af spildevandsrensning og energioptimering af spildevandsnetværk, indvirker på svovlbrinte problemerne, er det vigtigt at have viden omkring, og en forståelse for dannelse samt frigivelse af svovlbrinte. Baseret på denne viden, kan man således sammensætte en strategi for, hvordan man undgår eller bekæmper svovlbrinte mest effektivt. Der findes ingen universel metode til at løse et svovlbrinte problem, og det vil altid kræve en specifik vurdering af det enkelte system, at finde den rette løsning.

Kombinationen af, viden omkring den specifikke lokalitet (de fysiske rammer på stedet, system layout, "kvalitet" af spildevand etc.) samt valget af bekæmpelsesmetode, bør træffes på baggrund af samspillet mellem:

- Omkostning samt gener ved reduceret levetid af kloaksystemet
- Omkostning ved håndtering af lugtgener/-klager
- Driftssikkerhed
- Driftsøkonomi
- Omdømme og ønsket image af forsyningsselskabet
- Potentielle indvirkninger af processer på renseanlæg

For at bekæmpe svovlbrinte effektivt og til den lavest mulige pris, skal man have indblik i de kemiske og biologiske processer der fører til svovlbrinte, forstå hvordan forskellige bekæmpelsesmetoder virker, samt forstå hvordan ens spildevandssystem spiller sammen hermed. Denne artikelserie skulle gerne have forklaret væsentlige aspekter af den grundlæggende forståelse der kræves, for at komme i mål med svovlbrintebekæmpelsen. Sluttelig skal det nævnes, at gribes problemet rigtigt an, kan svovlbrinte bekæmpes effektivt, men det vil dog altid være bedre at løse svovlbrinteproblemet i designfasen and at eftermontere svovlbrinteløsninger.

For den interesserede læser kan bogen "Sewer Processes, microbial and chemical process engineering of sewer networks" være et uddybende supplement til denne gennemgang.

Chok dosering med natronlud Installation Start-of-pipe Bekæmper Biofilm (periodevis reduktion i lugt og korrosion) Fordele Får biofilmen til at løsnes og hæmmer derved sulfiddannelsen Installationen kan laves mobil, således den kan bruges på flere forskellige trykledninger, da behandlingen foretages med mellemrum Udfordringer Skal gentages ofte, da biofilmen vokser frem igen Arbejdsmiljø; håndtering af kemikalier	Rensegris Installation Start-of-pipe Bekæmper Biofilm (periodevis reduktion af lugt og korrosion) Fordele Fjerner biofilmen uden brug af kemikalier og hæmmer derved sulfiddannelsen Fjerner også andre aflejringer i ledningen Reducerer energiforbruget ved pumpning Udfordringer Skal gentages ofte, da biofilmen vokser frem igen Risiko for blokering/tilstopning af grisen	Nitrat dosering Installation Start-of-pipe Bekæmper Lugt Korrosion Fordele Virker både forebyggende på sulfiddannelsen, ved at opretholde anoxiske forhold i biofilmen, samt ved en kemisk/biologisk iltning af sulfid til sulfat Er også effektiv overfor andre lugtstoffer i kloakken Udfordringer Kan give øget vækst af biofilmen og derved øge modtrykket i systemet Forbruger letomsætteligt organisk materiale, hvilket kan nødvendiggøre dosering af dette på renseanlægget for at kunne denitrificere Hvis der doseres store mængder nitrat umiddelbart før renseanlægget kan der opstå problemer med biologisk fosfor fjernelse Arbejdsmiljø; håndtering af kemikalier
Atmosfærisk luft Installation Start-of-pipe Bekæmper Lugt Korrosion Fordele Virker både forebyggende på sulfiddannelsen, ved at opretholde aerobe forhold i biofilmen, samt ved en kemisk/biologisk iltning af sulfid til sulfat Der skal ikke oplagres kemikalier ude ved pumpestationerne, da luften kan leveres direkte fra en kompressor Nedsætter den hydrauliske opholdstid Udfordringer Det kan være svært at tilsætte nok ilt, således spildevandet holdes aerobt ved længere opholdstider Kan give hydrauliske problemer pga. luftlommer i trykledningen Kan give øget vækst af biofilmen og derved øge modtrykket i systemet Forbruger letomsætteligt organisk materiale, hvilket kan nødvendiggøre dosering af dette på renseanlægget	Jern dosering Installation Start-of-pipe End-of-pipe Bekæmper Lugt Korrosion Fordele Kan doseres på forhånd, således det er i spildevandet når sulfiden dannes, eller det kan tilsættes efter sulfiddannelsen har fundet sted Kan give forbedret kemisk fældning af fosfor på renseanlægget Udfordringer Udfældningen virker dårligt ved lavt pH < 6,5 Hvis der doseres store mængder jern i oplandet kan der opstå problemer med biologisk fosfor fjernelse på renseanlægget Arbejdsmiljø; håndtering af kemikalier	Hypoklorit og brintoverilte Installation End-of-pipe Bekæmper Lugt Korrosion Fordele Iltet den dannede sulfid til sulfat Er også effektiv overfor andre lugtstoffer i kloakken Udfordringer Kan ikke doseres på forhånd, da iltningen finder sted med det samme det tilsættes Arbejdsmiljø; håndtering af kemikalier
Kulfilter/forsegling Installation End-of-pipe Bekæmper Lugt Fordele Simpel, hurtig og kompakt installation Ingen løbende driftsudgifter Udfordringer Fjerner ikke svovlbrinte fra spildevandet, og denne kan give problemer nedstrøms Korrosionen pågår uhindret Hvornår regenerering eller udskiftningen af et kulfilter skal ske er svært at monitere	Offerledning Installation End-of-pipe Bekæmper Korrosion Fordele Udnytter at korrosion af offerledningen omdanner sulfid til sulfat, hvorved korrosionsskader nedstrøms reduceres Ingen løbende driftsudgifter Udfordringer Pladskrævende installation, da ledningen med mellemrum skal kunne graves op og udskiftes Kun 30-40% af svovlbrinten kan frigives via turbulens, resten føres med videre og kan give korrosion nedstrøms. Er strukturen ikke forseglet kan det give lugtgener, da man søger at optimere frigivelsen af svovlbrinte på dette sted	pH forøgelse Installation Start-of-pipe End-of-pipe Bekæmper Lugt Korrosion Fordele Afværger afdampning fra spildevandet, da sulfid ved højt pH er på bisulfid formen (HS ⁻). Sulfid der holdes i spildevandet kan potentielt geniltes, hvis der opstår aerobe forhold Udfordringer Sker der et senere pH fald af spildevandet kan svovlbrinten frigives pH skal muligvis rejusteres når spildevandet kommer på renseanlægget for at have optimale processforhold Arbejdsmiljø; håndtering af kemikalier

